

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a matematika se zaměřením na vzdělávání



Denisa Navrátilová

**Trendy hydroklimatických faktorů ve vybraných povodí
Krušných hor**

Trends of hydroclimatic factors in selected catchments of the Ore
Mts.

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D

Konzultant: Mgr. Ondřej Ledvinka, Ph.D

Praha, 2018

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 30.7.2018

.....

Denisa Navrátilová

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala hlavně RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za odborné vedení mé práce, cenné rady a připomínky. Také děkuji mému konzultantovi Mgr. Ondřeji Ledvinkovi, Ph.D. za pomoc se sháněním datových řad pro účely mé práce. V neposlední řadě děkuji všem mým kamarádům a rodině za psychickou podporu a pomoc při tvorbě mé bakalářské práce.

Zadání bakalářské práce

Název práce:

Trendy hydroklimatických faktorů ve vybraných povodích Krušných hor

Práce se zabývá trendy srážkoodtokového režimu ve vybraných povodích Krušných hor. Hlavním cílem je vyhodnotit časové řady průtoků z dostupných limnigrafických stanic a porovnat je s adekvátními řadami srážkových úhrnů a teplot vzduchu. Identifikace a analýza trendů základních hydroklimatických faktorů s důrazem na změny odtoku v kontextu regionální změny klimatu a možného vodohospodářského využívání vodních zdrojů v zájmovém území.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje:

- stručná fyzicko-geografická charakteristika vybraných zájmových povodí
- příprava vstupních datových podkladů
- základní zhodnocení srážko-odtokového režimu vybraných povodí
- aplikace statistických testů pro detekci trendů (např. Mann-Kendallův test)
- zhodnocení změn S-O režimu (např. pomocí IHA analýzy)
- diskuse a shrnutí výsledků

Datové zdroje: odborná literatura, mapové a datové podklady, data DWD, ČHMÚ, informace od správců toků

Datum zadání: 10.10. 2017

Jméno studenta: Denisa Navrátilová

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá identifikací trendů v datových řadách vybraných hydroklimatických faktorů (teplot, srážek a průtoků) povodí horního toku řeky Svatavy a povodí Načetínského potoka, které leží v Krušných horách. Hlavním cílem je identifikace základních trendů obou zájmových povodí a jejich následná srovnávací analýza. K analýzám jsou využívána denní průtoková data z limnigrafických stanic Klingenthal a Rothenthal a z německých klimatických stanic nacházejících se v blízkosti zájmových povodí. Úvodní část popisuje fyzicko-geografickou charakteristiku sledovaných povodí. Hlavní část práce je věnována k analýze teplot, srážek a průtoků například pomocí metody lineární regrese, jednoduchých součtových čar a Mann-Kendallova statistického testu. Detailnější analýza průtokových dat je zpracována pomocí IHA analýzy. Výsledky analýz prokázaly výrazný roční trend zvyšování teplot a snižování průtoků během sledovaných let. Nejvýznamnější změna teplot a průtoků je zaznamenána v jarním a letním období.

Klíčová slova: odtok, srážky, teploty, změna srážkoodtokového režimu, Mann-Kendallův test, IHA analýza

Abstract

The bachelor work deals with identification of the trends in data series of the chosen hydroclimatic factors (temperatures, rainfall and runoff) of the upper Svatava River basin and of the Načetín Brook which both drained the Ore Mountains. The main aim of the thesis is identification of the trends of both study catchments and their comparative analysis. The study uses mean daily discharges data from the gauging stations Klingenthal and Rothenthal and also from the German climatic stations situated near study catchments. The introductory part describes physical-geographic characteristics of study catchments. The main attention is paid to the analysis of temperatures, rainfall and runoff, e.g. by the method of linear regression, simple sum curves and by Mann-Kendall statistic test. More detailed analysis of the runoff was done using IHA software. Results of analysis show a significant annual trend of temperatures increasing and runoff decreasing during the examined period. The most significant changes in temperatures and runoff is recorded in the spring and summer seasons.

Key words: outfall, rainfall, temperatures, the change of the rainfall-outfall régime, Mann-Kendall test, IHA analysis

Obsah

1	Úvod a cíle práce	9
2	Zdroje dat a aplikované metody	10
2.1	Zdroje dat	10
2.2	Metody a použitý software	12
2.2.1	Použitý software	12
2.2.2	Jednoduché součtové čáry a lineární regrese	12
2.2.3	Testování trendů časových řad	12
2.2.4	IHA analýza	13
3	Vymezení a charakteristika zájmových povodí	15
3.1	Základní fyzicko-geografická charakteristika	15
3.1.1	Svatava	15
3.1.2	Načetínský potok	17
3.2	Geomorfologie zájmových území	18
3.3	Charakteristika místního klimatu	20
3.4	Hydrografické poměry	22
3.4.1	Tvar povodí	22
3.4.2	Říční síť	24
3.4.3	Orografické poměry povodí	25
3.5	Základní charakteristika odtoku	29
3.6	Pedologické poměry a krajinný pokryv	31

4	Výsledky	36
4.1	Trendy průměrných měsíčních a ročních teplot	36
4.2	Trendy průměrných měsíčních a ročních srážek	40
4.3	Trendy průměrných měsíčních a ročních průtoků	44
4.3.1	Mann-Kendallův statistický test průměrných Q_m a Q_r	46
4.3.2	Hodnocení změn odtokového režimu na základě průměrných denní průtoků 48	
5	Diskuze a závěry.....	51

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa povodí Svatavy

Obrázek 2: Mapa povodí Načetínského potoka

Obrázek 3: Mapa sklonitosti zájmových území Svatavy (nahore) a Načetínského potoka

Obrázek 4: Klimadiagram pro město Klingenthal

Obrázek 5: Klimadiagram pro město Rübenau

Obrázek 6: Výškové mapy zájmových území povodí Svatavy (nahore) a Načetínského potoka

Obrázek 7: Dlouhodobé průměrné průtoky sledovaných profilů, 1961–2017

Obrázek 8: Průměrné křivky překročení Q_d sledovaných profilů, 1961–2017

Obrázek 9: Graf vývoje procentuálního zastoupení krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Svatavy

Obrázek 10: Graf vývoje procentuálního zastoupení krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Načetínského potoka

Obrázek 11: Mapa typů krajinného pokryvu povodí Svatavy v letech 1990, 2000, 2006 a 2012

Obrázek 12: Mapa typů krajinného pokryvu povodí Načetínského potoka v letech 1990, 2000, 2006 a 2012

Obrázek 13: Graf průměrných měsíčních teplot za období 1961–2017

Obrázek 14: Průměrná roční teplota stanice Elster Bad-Sohl za období 1961–2017

Obrázek 15: Průměrná roční teplota stanice Marienberg za období 1961–2017

Obrázek 16: Průměrná roční teplota stanice Fichtelberg za období 1961–2017

Obrázek 17: Graf měsíčního rozložení srážek, období 1961–2017

Obrázek 18: Průměrné roční srážky stanice Elster Bad-Sohl za období 1961–2017

Obrázek 19: Průměrné roční srážky stanice Marienberg za období 1961–2017

Obrázek 20: Průměrné roční srážky stanice Fichtelberg za období 1961–2017

Obrázek 21: Průměrné měsíční průtoky, 1961–2017

Obrázek 22: Průměrné roční průtoky profilu Klingenthal, 1961–2017

Obrázek 23: Průměrné roční průtoky profilu Rothenthal, 1961–2017

Obrázek 25: Jednoduché součtové čáry Q_r sledovaných profilů, 1961–2017

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehledové informace o klimatických a hydrologických stanicích

Tabulka 2: Základní údaje o zájmových území sledovaných povodí

Tabulka 3: Hodnoty pro určení typu charakteristiky povodí α

Tabulka 4: Hydrografické ukazatele zájmových povodí

Tabulka 5: Vybrané ukazatele sledovaných povodí pro období 1961–2017

Tabulka 6: Vývoj zastoupení typů krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Svatavy

Tabulka 7: Vývoj zastoupení typů krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Načetínského potoka

Tabulka 8: Průměrné teploty

Tabulka 9: Dlouhodobý měsíční a roční trend pro průměrné teploty podle Mann-Kendallova testu

Tabulka 10: Průměrné roční úhrny srážek

Tabulka 11: Dlouhodobý měsíční a roční trend pro průměrné srážky podle Mann-Kendallova testu

Tabulka 12: Dlouhodobý měsíční a roční trend pro průměrné průtoky podle Mann-Kendallova testu

Tabulka 13: Dlouhodobý měsíční a roční trend pro minimální průtoky podle Mann-Kendallova testu

Tabulka 14: Hodnoty mediánu pro jednotlivé parametry IHA

1 Úvod a cíle práce

Klima naší planety se stále mění. Tyto změny mají v hydrologii vliv na kvalitu vod ale také zejména i na jejich kvantitativní chod. Nejviditelnější transformace se dějí v nárůstu a poklesu odtoku z území během různých ročních období. Řada toků už má jiný roční chod, než jsme byli dříve zvyklí. Tyto trendy mají různé příčiny, ať už je to změna chodu srážek anebo teploty. V dnešní době hydrologové využívají dva základní přístupy zjišťování vývoje srážkoodtokového režimu. Díky lepším a novým počítačovým technologiím je prvním z nich hydrologické modelování. Druhým přístupem jsou metody statistické analýzy, které jsou využity i v této práci.

Hlavním cílem této práce je odhalit trendy srážkoodtokového režimu povodí horní části toku Svatavy a povodí Načetínského potoka ležících v Krušných horách. Pomocí rozboru časových řad od roku 1961 jsou popsány trendy průtoků sledovaných zájmových toků a následně jsou porovnány s datovými řadami teplot vzduchu a srážkových úhrnů blízkých klimatických stanic. Identifikace a analýza vývoje základních hydroklimatických faktorů probíhá pomocí řady metod, například lineární regrese, metody jednoduchých součtových čar, Mann-Kendallových neparametrickým testem a IHA analýzou.

Na území České republiky proběhla řada studií, které testovaly trendy průtoků, srážek a teplot na území různých povodí. Kliment a Matoušková (2007) zkoumali modelová povodí situovaná v pramenné oblasti řeky Otavy – povodí Vydry, povodí Ostružné a horní část povodí Blanice. Sledovali průměrné průtoky, srážkové charakteristiky a jejich změny v rozložení během roku a vývoji průměrné teploty vzduchu. Na tento výzkum Kliment a Matoušková (2009) ještě navázali. Téma zjišťování trendů ve vývoji odtoků a srážek je často zpracováváno v rámci bakalářských a diplomových prací. Povodím řek Opavy a Opavice se zabýval Královec (2009), povodí Stropnice zkoumala Volková (2010) a povodími v oblasti Šumavy Fiala (2017). Na území Krušných hor proběhla studie v povodí Rolavy (Ledvinka, 2006, 2008) a v povodí Blšanky (Šmidtová, 2014). Územím mimo Českou republiku se zabývala Fraindová (2014), která zkoumala povodí řeky Athabasca ležící v Kanadě. Horním tokem řeky Hron na Slovensku sledovala Blahušiaková a Matoušková (2015). Německou částí Krušných hor a územím Saska studovali Renner a Bernhofer (2011).

2 Zdroje dat a aplikované metody

2.1 Zdroje dat

Hydrologická a klimatická data k potřebným analýzám byla získána z německých stanic, protože celé zájmové území Svatavy a téměř polovina zájmového území Načetínského potoka leží v Německu. Klimatická data pro hodnocení zájmových povodí byla stažena z internetových stránek německé meteorologické služby Deutscher Wetterdienst (2018). Odtud byla čerpána data průměrných měsíčních srážek H_m a teplot T_m pro stanice Elster Bad-Sohl, nacházející se v blízkosti povodí Svatavy, která byla k dispozici od 1.1.1951, a stanice Marienberg v blízkosti povodí Načetínského potoka se začátkem datové řady k 1.1.1956. Dále byla vybrána stanice Fichtelberg ke srovnání výsledků předešlých dvou stanic. Tato stanice byla zvolena, protože leží přibližně v polovině vzdálenosti obou sledovaných zájmových povodí a měření na této stanici probíhá již od 1.8.1890. Bohužel na území České republiky nebyla nalezena vhodná stanice ke srovnání, ať už kvůli nevhodné poloze či krátké časové řadě. Hydrologická data o denních průměrných průtocích Q_d byla získána ze stanice Klingenthal v povodí Svatavy, kde probíhá měření nejkratší dobu ze sledovaných stanic a to od 1.11.1960, a Rothenthal v povodí Načetínského potoka, kde je k dispozici řada od 1.11.1928. Tato data byla stažena z německých internetových stránek sachsen.de (2018). Podrobnější informace o stanicích jsou zobrazeny v tabulce č. 1.

K analýze srážkových a teplotních trendů pomocí Mann-Kendallova testu byly použity hodnoty průměrných H_m a T_m z klimatických stanic Elster Bad-Sohl, Marienberg a Fichtelberg pro srovnání výsledků. V teplotních datových řadách pro stanici Elster Bad-Sohl chyběly hodnoty za kalendářní rok 1967 a hydrologický rok 2005, leden a únor roku 2006. V datových řadách pro průměrné H_m se taky nevyskytoval hydrologický rok 2005 a leden a únor 2006. V datech průměrných T_m pro stanici Marienberg zcela chyběly kalendářní roky 1971–1975. A dále se zde nevyskytovaly některé měsíční hodnoty pro období 1991–1995. V datové řadě průměrných H_m nebyly hodnoty pro kalendářní rok 1968, část roku 1971, období 1991–1995 a některé měsíce v roce 2003 a 2004. Data pro stanici Fichtelberg byly zcela kompletní.

Data průměrných Q_m k analýze trendů odtokových poměrů byly využity z limnigrafických stanic Klingenthal pro zájmové území Svatavy a Rothenthal pro zájmové území Načetínského potoka. Obě limnigrafické stanice tvoří závěrový profil zájmového území.

Datová řada pro stanici Klingenthal byla úplná až na kalendářní rok 1970, jehož hodnoty chyběly. Data ze stanice Rothenthal byla zcela kompletní.

Tabulka 1: Přehledové informace o klimatických a hydrologických stanicích

název stanice	ID stanice	nadmořská výška stanice	začátek dat. řady	konec datové řady	souřadnice polohy
Elster Bad-Sohl	01207	560 m n.m.	1.1.1951	31.10.2017	50,2705 12,2742
Marienberg	03166	639 m n.m.	1.1.1956	31.10.2017	50,651 13,1469
Fichtelberg	01358	1213 m n.m.	1.8.1890	31.10.2017	50,4283 12,9535
Rothenthal	568350	560 m n.m.	1.11.1928	31.10.2017	50,6189583 13,3599517
Klingenthal 1	530020	547 m n.m.	1.11.1960	31.10.2017	50.3538511 12,4710550

Zdroj: Deutsche Wetterdienst, 2018; sachsen.de, 2018

Zhodnocení změn v odtokovém režimu proběhlo v programu IHA (IHA Software, 2009) pro průměrné denní hodnoty průtoků Q_d . Analýza srovnávala období 1961–1988 a 1989–2017. Pro unikátní délku datové řady pro stanici Rothenthal byla aplikována analýza i pro časové období 1929–1972 a 1973–2017.

Všechna data byla zkoumána za období 1.11.1960 až 31.10.2017, aby mohlo dojít ke snadnějšímu srovnání a interpretaci výsledků. Pro stanici Rothenthal byly data zkoumány ještě za období 1.11.1928 až 31.10. 2017.

2.2 Metody a použitý software

2.2.1 Použitý software

Pro tvorbu map byl použit program ArcGis 10.4.1 (ARCDATA PRAHA, 2018b). Vstupní topografická data jsou zdarma ke stažení z internetových stránek společnosti ARCDATA PRAHA (2018a). Z digitální vektorové geografické databáze České republiky ArcČR 500 verze 3.3 v měřítku 1:500 000 byly využity vrstvy státních hranic, okresů a digitální model reliéfu (ARCDATA PRAHA, 2018a). Potřebná data k vodním tokům a jejich povodím pro území České republiky poskytl Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka prostřednictvím projektu Digitální báze vodohospodářských dat (dále jen DIBAVOD) (DIBAVOD 2017). Data pro území Německa byla získána ze saských internetových stránek sachsen.de (2018). Z internetových stránek evropského programu Copernicus (2018) byla získána data krajinného pokryvu CORINE Land Cover 2012. Všechny výstupy byly vytvořeny v souřadnicovém systému S-JTSK. Pro zpracování grafů a tabulek byl použit program MS–Excel 2016. Detekce sledovaných trendů proběhla v nástavbě MULTMK/PARTMK pro MS–Excel (Grimvall, Libiseller, 2003). K podrobnější analýze průtokových dat byl využit program Indicators of Hydrologic Alteration 7.1 (IHA Software, 2009).

2.2.2 Jednoduché součtové čáry a lineární regrese

K základní vizualizaci datových řad byla využita metoda jednoduchých součtových čar a lineární regrese zhodnocující tendenci sledovaného jevu. Graf jednoduché součtové čáry je sestaven tak, že na osu y jsou vyneseny kumulativní hodnoty sledovaného jevu a osa x představuje jednotlivé roky sledovaného období. Metody jednoduchých součtových čar a lineární regrese jsou často využívány k základní analýze dat, a proto se vyskytuje v pracích řady autorů, například Kliment, Matoušková (2005, 2007b), Fraindová (2014), Královec (2009) Ledvinka (2008). Pomocí těchto metod byly zobrazeny průměrné Q_r stanic Klingenthal a Rothenthal za období 1961–2017.

2.2.3 Testování trendů časových řad

K analýze trendů dat byla využita metoda Mann-Kendallova neparametrického testu (Mann, 1945; Kendall, 1975; Libiseller 2004) sloužícího k detekci dlouhodobého ročního i sezónního trendu. Výpočet probíhá pomocí vzorce: $S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$, kdy n

je délka časové řady, x_i a x_j jsou hodnoty dat i a j v řadě ($j > i$) a $sgn(x_j - x_i)$ je funkce dána

$$\text{vztahem: } sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} 1, & x_j - x_i > 0 \\ 0, & x_j - x_i = 0 \\ -1, & x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (\text{Libiseller, Grimvall, 2002}).$$

K výpočtu byla použita makro nástavba MULTMK/PARTMK pro MS – Excel vytvořená Grimvall a Libiseller (2003) v programovacím jazyce Visual Basic.

Pro zjištění míry signifikance testu slouží p-hodnota, pro níž hodnoty blíží se nule mají větší významnost. V této práci byl test aplikován na průměrné T_m , H_m a Q_m pro 5% hladinu spolehlivosti ($p < 0,05$). Pokud je výsledné číslo menší než zvolená hodnota hladiny významnosti, tak zamítáme nulovou hypotézu (Gocic, Trajkovic, 2013).

Směr trendu ukazuje parametr MK-S. Jeho záporné hodnoty značí klesající trend a kladné hodnoty trend stoupající. Tento test je velmi rozšířený k analýze hydrologických a klimatických dat po celém světě. Ke svým analýzám ho využili například: Bard (2015); Blahušiaková, Matoušková (2015); Fraindová (2014); Gocic, Trajkovic (2013); Hong et al. (2017); Kliment, Matoušková (2008, 2009); Kliment, Matoušková, Ledvinka, Královec (2011); Kyselý (2009); Łupikasza (2011); Petrow, Merz (2009); Ptak, Wrzesiński, Choiński (2017); Vlach (2016).

2.2.4 IHA analýza

Detailnější analýza denních průtoků během hydrologických let proběhla ve volně dostupném programu Indicators of Hydrologic Alteration 7.1 (dále jen IHA; IHA Software, 2009), ve kterém se zpracovává 33 hydrologických parametrů řazených do pěti kategorií. K posouzení odtokových změn byla použita metoda RVA (The Range of Variability Approach; Richter et al., 1996, 1997, 1998), která posuzuje dvě časová období: nejčastěji v souvislosti s výstavbou velkých vodních děl, např. (Yang et al., 2008). Srovnání dvou časových období probíhá pomocí vztahu

$$D = \left| \frac{N_o - N_e}{N_e} \right| * 100,$$

kde D je stupeň změn uváděn v procentech, N_o je zaznamenaný počet let v prvním období, kdy hodnota m -tého hydrologického indikátoru poklesla o 17 percentilů od mediánu v rámci rozmezí RVA. Proměnná N_e je vypočtena na základě vzorce

$$N_e = p * N_T,$$

kde $p = 50 \%$ a N_T je celkový počet let druhého období. Tedy hodnota N_e představuje předpokládaný počet let v druhém období, ve kterém v rámci rozmezí RVA hodnota m -tého hydrologického indikátoru poklesne (The Nature Conservancy, 2009). Richter et al. (1998) zařazuje velikost změn do tří kategorií – nízké (0–33 %), střední (34–67 %) a vysoké (68–100 %).

V rámci analýzy lze volit mezi parametrickým a neparametrickým přístupem. Pro tuto práci byl využit neparametrický přístup, který využívá medián (50. percentil) jako ústřední tendenci. K posouzení variability využívá rozpětí 34.–67. percentil. Hodnoty mediánu jsou zobrazeny v tabulce č. 14, která zachycuje 33 hydrologických parametrů dělících se do pěti skupin (The Nature Conservancy, 2009):

Skupina 1: obsahuje dvanáct hodnot mediánu pro všechny měsíce v roce za dvě sledovaná období.

Skupina 2: zahrnuje celkem deset parametrů popisujících velikost a délku trvání průtokových extrémů; dále index základního odtoku (base flow index), který je definován jako poměr ročního minima sedmidenního klouzavého průměru a ročního průměrného průtoky; během sledovaných období se nevyskytl ani jeden den s nulovým průtokem, tudíž byl parametr dny s nulovým průtokem (number of zero days) z tabulky vynechán.

Skupina 3: udává vždy první den v hydrologickém roce, kdy průtok dosáhl svého minima a maxima.

Skupina 4: zobrazuje počet poklesů a vzestupů během hydrologického roku, kdy je překročena hranice mediánu $\pm 25 \%$ a udává délku jejich trvání.

Skupina 5: popisuje medián poklesu/vzestupu průtoků mezi dvěma po sobě následujícími dny a zachycuje počet těchto tendencí.

IHA analýzu ve svých pracích využila řada autorů, například Blahušiaková, Matoušková (2015); Fraindová (2014); Vlach (2016); Yang et al. (2008, 2017).

3 Vymezení a charakteristika zájmových povodí

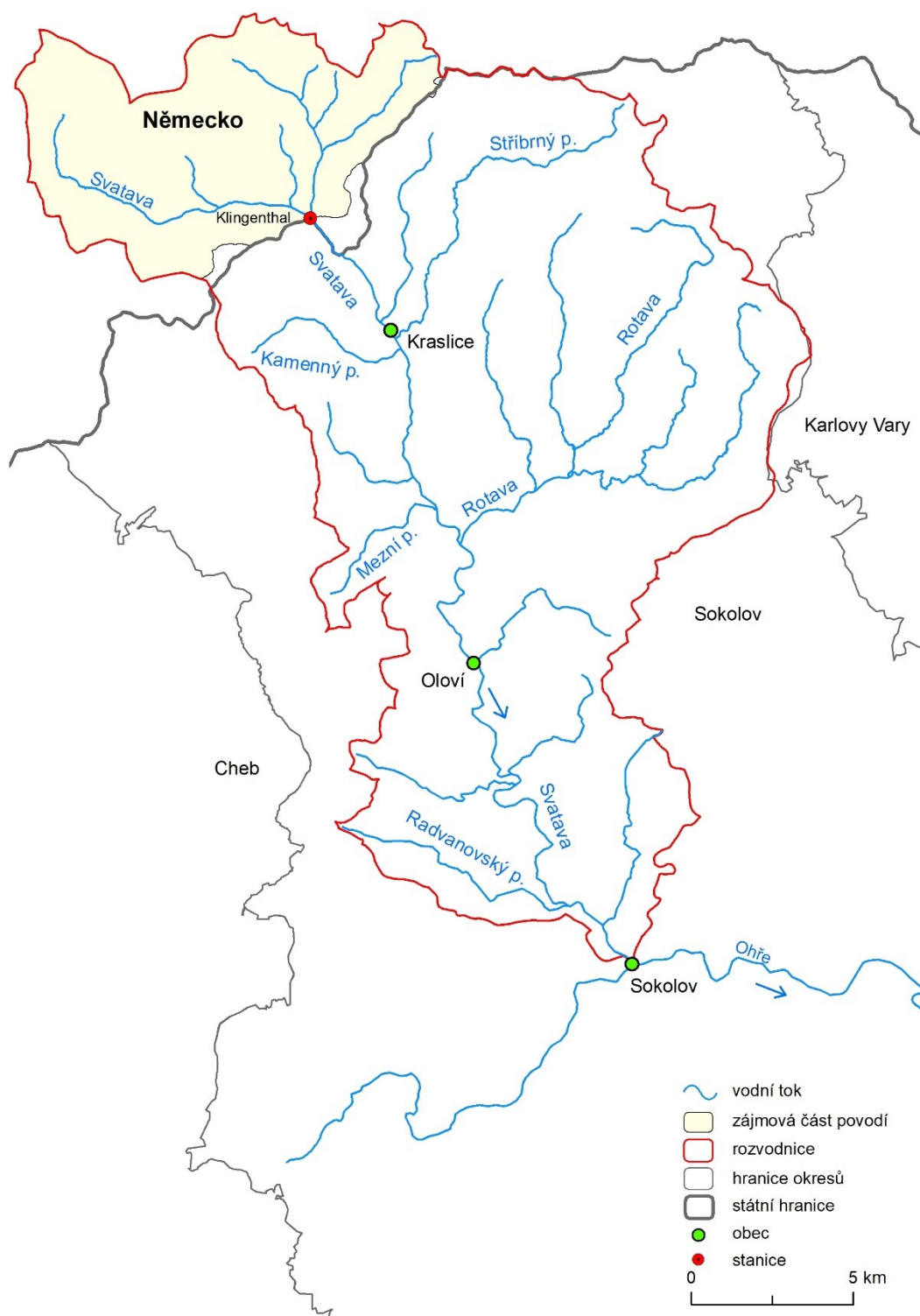
Pro tuto bakalářskou práci byla vybrána území povodí Svatavy a Načetínského potoka ležících v Krušných horách. Z těchto povodí byla vymezena zájmová území, které končí závěrovými profily (stanicemi Klingenthal a Rothenthal). Sledované území povodí Svatavy se nachází v německé části Krušných hor. Území Načetínského potoka leží na česko-německé hranici. Výběr zájmových povodí je podmíněn jejich podobnou charakteristikou a dostupnými daty.

3.1 Základní fyzicko-geografická charakteristika

3.1.1 Svatava

Řeka Svatava pramení na německém území jihovýchodně od Shönecku ve výšce 710 m n. m. Na území České republiky přitéká za městem Klingenthal, ve kterém se do ní zleva vlévá její největší přítok z německého území – řeka Brunndöbra. Svatava tvoří na úseku asi 1,5 km státní hranice. Dále pokračuje přes Kraslice, Oloví a v Sokolově se zleva vlévá do Ohře v nadmořské výšce 400 m n. m. Jejím největšími pravostrannými přítoky jsou Kamenný potok, Mezní potok a Radvanovský potok. Největší levostranné přítoky tvoří Stříbrný potok a Rotava. Svatava je řeka III. řádu dle absolutní řádovosti toků. Délka toku činí 40,2 km a plocha povodí je 299,7 km² (Vlček, 1984). Zájmová část povodí po uzavěr Klingenthal v nadmořské výšce 547 m n. m. má rozlohu 53,91 km² a délka toku činí 9,59 km (sachsen.de, 2018, ArcGis 10.4.1).

Na řece se nalézají dvě limnigrafické stanice na území České republiky (ČHMÚ, 2017). První je v obci Kraslice na 24 km řeky (hlásný profil č. 222). Průměrný roční průtok je zde 1,52 m³s⁻¹ a průměrný roční stav 24 cm. Touto stanicí protéká voda ze 40 % plochy povodí. Druhá stanice se nachází v obci Svatava (hlásný profil č. 223) 1,1 km od ústí toku a protéká tudý voda z 99 % plochy povodí. Na této stanici je naměřen průměrný roční průtok 3,67 m³s⁻¹ a průměrný roční vodní stav 41 cm. Na území Německa najdeme stanici ve městě Klingenthal. Umístění stanic a mapa povodí je zobrazena na obrázku č. 1.

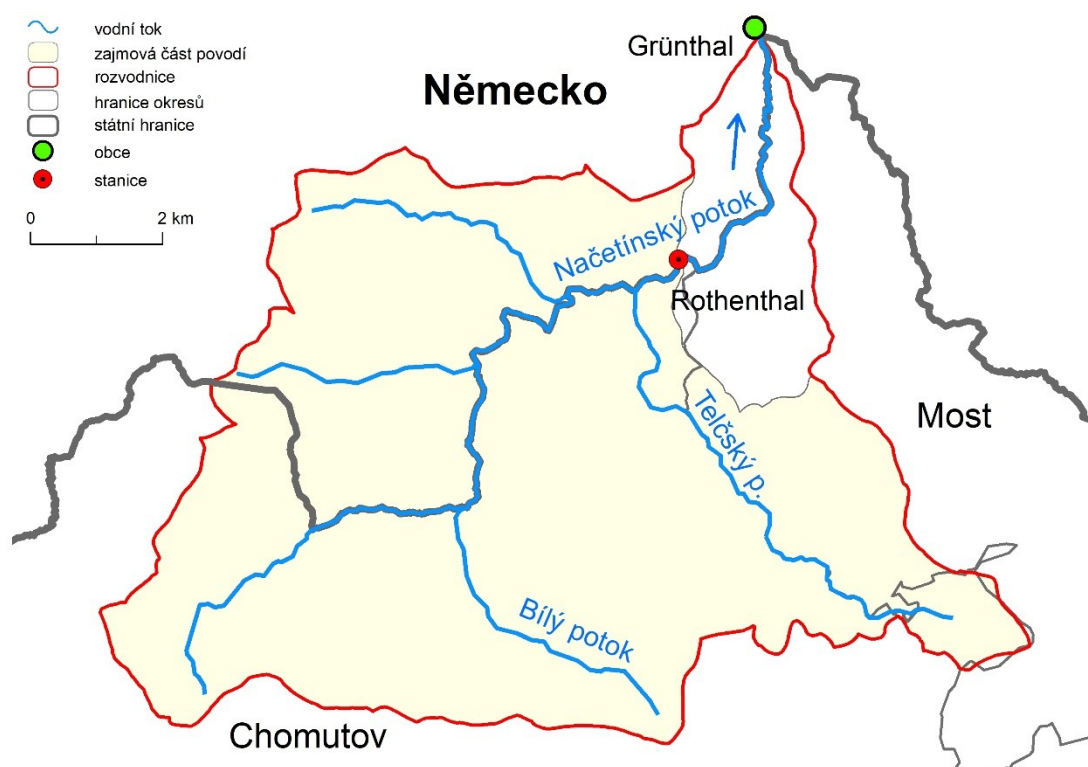


Obrázek 1: Mapa povodí Svatavy

Zdroj: DIBAVOD 2017, sachsen.de 2018, ArcČR500

3.1.2 Načetínský potok

Načetínský potok pramení jihovýchodně od Jeleního vrchu ve výšce 825 m n. m. v chráněném území Novodomského rašeliniště (Vlček, 1984). Téměř celá část toku tvoří česko-německou hranici. Jeho největší pravostranné přítoky jsou Bílý potok a Telčský potok. Jeho levostranné přítoky tvoří jen pár drobných toků. Vlévá se zleva do Flájského potoka ve výšce 475 m n. m. v německém městě Grünthal. Načetínský potok je tok V. řádu dle absolutní řádovosti. Délka toku činí 17,9 km a plocha povodí je 84,2 km². Průměrný průtok u ústí je 1,1 m³s⁻¹. Na tomto toku se na území České republiky nenachází žádná hydrologická stanice. Na území Německa se zde vyskytuje jedna hydrologická stanice poblíž města Rothenthal. Zájmová část povodí po uzavěr Rothenthal má rozlohu 73,68 km² a délka toku činí 13,63 km (DIBAVOD, 2017; ArcGis 10.4.1). Umístění stanice a mapa povodí je zobrazena na obrázku č. 2.



Obrázek 2: Mapa povodí Načetínského potoka

Zdroj: DIBAVOD 2017, sachsen.de 2018, ArcČR500

3.2 Geomorfologie zájmových území

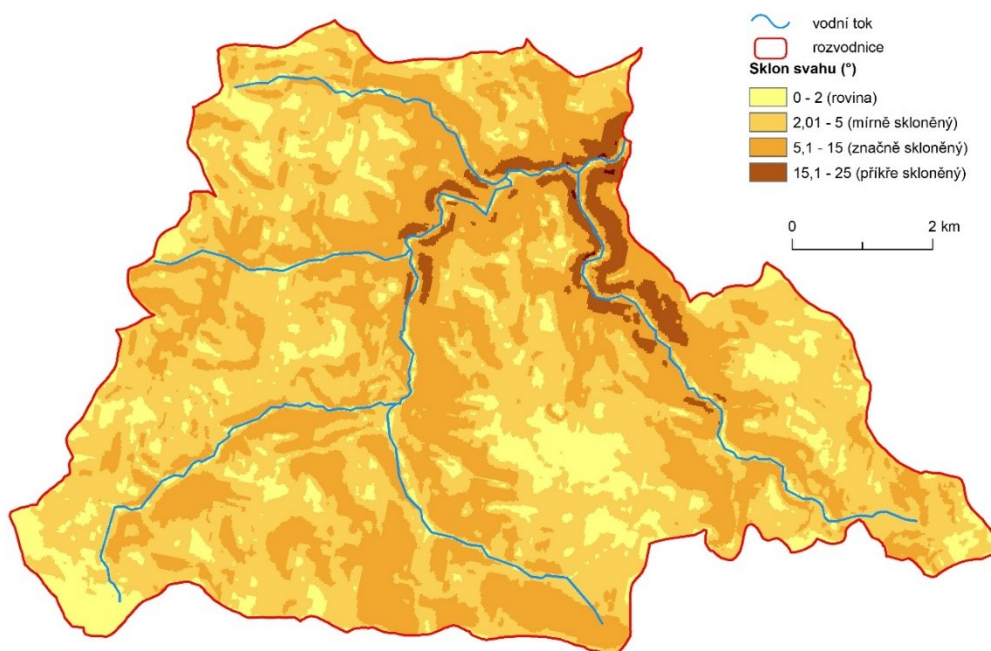
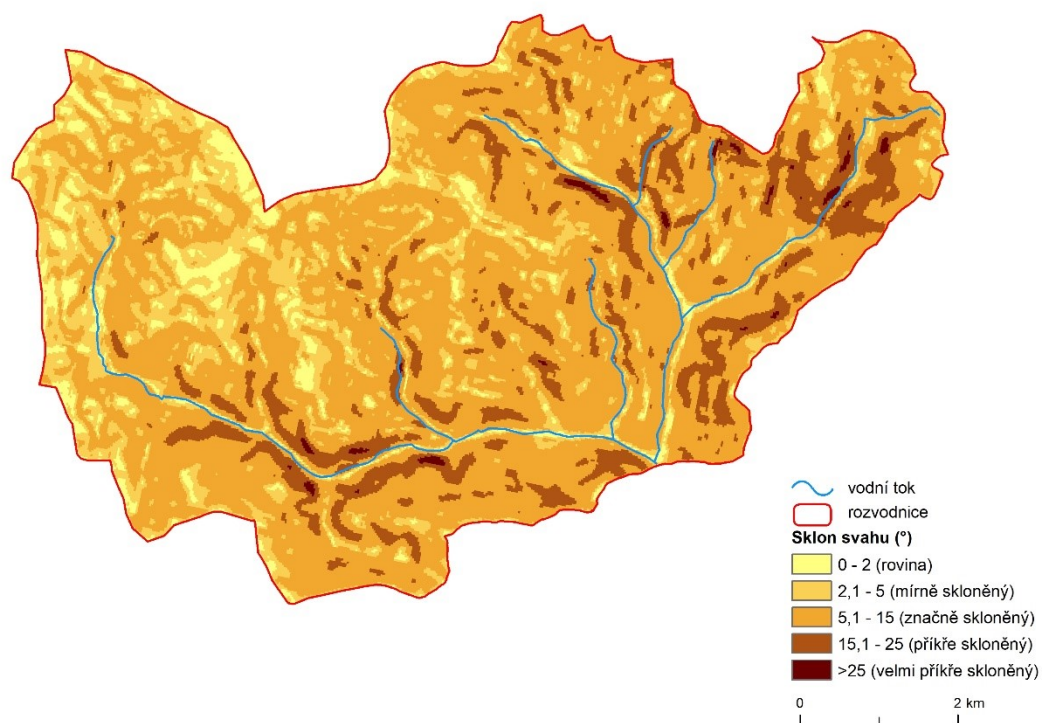
Z geomorfologického hlediska můžeme povodí Svatavy zařadit podle Balatky a Kalvody (2006) do provincie Česká vysočina, subprovincie Krušnohorská soustava (III), oblasti Krušnohorská hornatina (IIIA), celku Smrčiny (IIIA1) a podcelku Ašská vrchovina (IIIA1A).

Smrčiny jsou členitá pahorkatina s plochým zvlněným povrchem na okraji rozřezaným údolími vodních toků. Ašská vrchovina má výškovou členitost 100–300 m, střední výšku 605,7 m a střední sklon 4°28'. Rozkládá se na území o rozloze 137 km² (Demek et al., 1987).

Z geomorfologického hlediska můžeme povodí Načetínského potoka zařadit podle Balatky a Kalvody (2006) do provincie Česká vysočina, subprovincie Krušnohorská soustava (III), oblasti Krušnohorská hornatina (IIIA), celku Krušné hory (IIIA2), podcelku Loučenská hornatina (IIIA2B), okrsku Načetínská vrchovina (IIIA2B-2a), Brandovská vrchovina (IIIA2B-2b).

Loučenská hornatina je kerná hornatina s rozlehlými zbytky zarovnaných povrchů ve vrcholové části protažená směrem jihozápad – severovýchod s rozlohou 832 km². Její vrcholová část je plochá, mírně ukloněná k severozápadu. Nejvyšší vrcholy se vyskytují při vrcholovém jihovýchodním zlomovém svahu, rozčleněném zářezy svahových potoků. Do nitra náhorních plošin pronikají jen toky tektonicky predisponované (Demek et al. 1987).

Na obrázku č. 3 je znázorněna sklonitost zájmových území obou povodí. Je patrné, že reliéf povodí Svatavy obsahuje více příkře a velmi skloněných svahů. V povodí Načetínského potoka je největší sklonitost na dolním toku řek, zatímco v povodí Svatavy se příkře skloněné svahy vyskytují na území celého území.



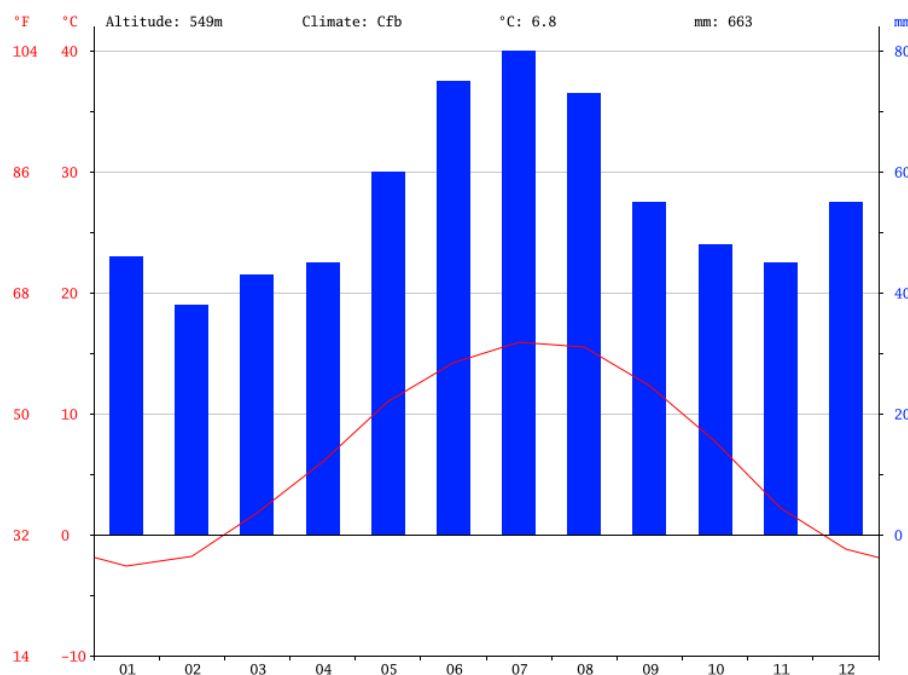
Obrázek 3: Mapa sklonitosti zájmových území Svatavy (nahore) a Načetínského potoka

Zdroj: ArcČR500, sachsen.de 2018, DIBAVOD 2017

3.3 Charakteristika místního klimatu

Podle Köppenovy klasifikace patří zájmová území obou povodí do kategorie Dfb (climate-data.org, 2018). Tato kategorie se označuje jako boreální (severská) s typickým celoročně vlhkým klima s chladným létem a stejnoměrným rozložením srážek během roku (Tolasz et al, 2007).

Klimadiagram na obrázku č. 4 znázorňuje průběh teplot a srážek ve městě Klingenthal, které leží v zájmovém území povodí Svatavy. Průměrná roční teplota se zde pohybuje okolo 6,8 °C a průměrný roční úhrn srážek je okolo 663 mm. Nejméně srážek zde napadne v únoru (38 mm), naopak srážkově nejbohatší měsíc je červenec s 80 mm. Nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou teplotou -2,6 °C a nejteplejším měsícem je opět červenec s průměrnou teplotou 15,9 °C. Rozdíl mezi nejsušším a nejvlhčím měsícem je 42 mm a mezi nejchladnějším a nejteplejším měsícem činí 18,5 °C. (climate-data.org, 2018)

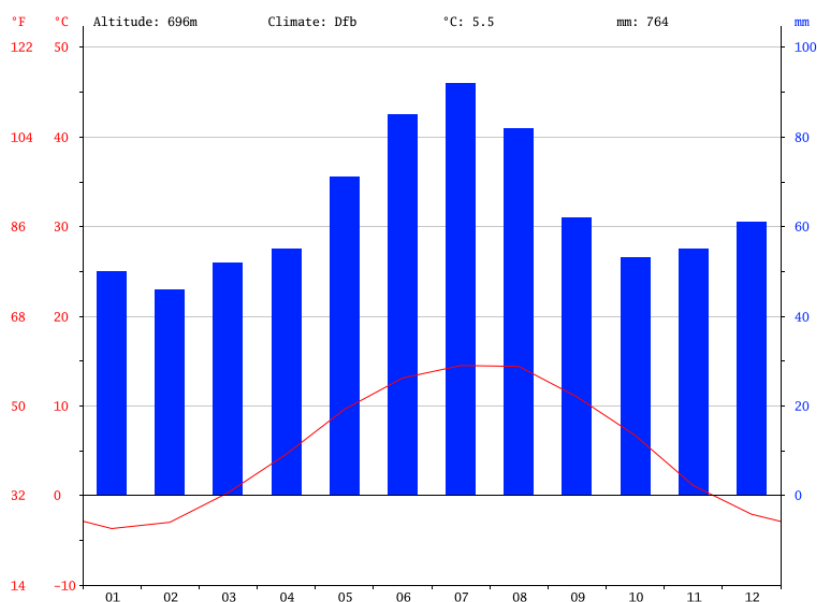


Obrázek 4: Klimadiagram pro město Klingenthal

Zdroj: climate-data.org, 2018

Klimadiagram na obrázku č. 5 znázorňuje průběh teplot a srážek ve městě Rübenau, které se nachází v zájmovém území povodí Načetínského potoka. Průměrná roční teplota je zde nižší než v povodí Svatavy a to 5,5 °C, naopak průměrný roční úhrn srážek je zde vyšší (764 mm).

Nejméně srážek stejně jako v povodí Svatavy napadne v únoru (46 mm) a nejvíce v červenci (92 mm). Nejchladnějším měsícem je leden s $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a naopak nejteplejším měsícem je červenec s $14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ stejně jako v povodí Svatavy. Rozdíl mezi nejsušším a nejvlhčím měsícem je 46 mm, což je jen o 4 mm víc než v povodí Svatavy. Rozdíl mezi nejchladnějším a nejteplejším měsícem činí $18,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je hodnota lišící se pouze o $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ než v povodí Svatavy.



Obrázek 5: Klimadiagram pro město Rübenau

Zdroj: climate-data.org, 2018

3.4 Hydrografické poměry

Kapitola se věnuje podrobné hydrologické charakteristice vybraných povodí. Základní hydrografické veličiny jsou uvedeny v tabulce č. 2. Pomocí následujících hodnot byly odvozovány jednotlivé hydrologické charakteristiky.

Tabulka 2: Základní údaje o zájmových území sledovaných povodí

	Svatava	Načetínský potok
Plocha povodí P	53,91 km ²	73,68 km ²
Délka povodí L	9,2 km	10,52 km
Délka rozvodnice L_R	39,76 km	46,28 km
Skutečná délka toku l	9,59 km	13,63 km
Přímková délka toku d	7,49 km	9,77 km
Celková délka toků $\sum l$	27,73 km	36,17 km
Nejvyšší bod povodí h_{\max}	932 m n.m.	917 m n.m.
Nejnižší bod povodí h_{\min}	547 m n.m.	560 m n.m.
Nejvyšší bod toku H_{\max}	710 m n.m.	825 m n.m.
Nejnižší bod toku H_{\min}	547 m n.m.	560 m n.m.

Zdroj: DIBAVOD, 2017; sachsen.de, 2018; ArcGis 10.4.1

3.4.1 Tvar povodí

Podle Kemela a Koláře (1980) má přirozené povodí většinou tvar symetrického nebo asymetrického listu, více či méně protáhlého. Dále má tvar povodí značný vliv na tvoření průtoků v řekách po spadnutí srážek. Úzce souvisí s tvarem říční sítě. (Netopil, 1970)

K srovnání zájmových povodí využijeme *Graveliův koeficient* K_G vyjadřující poměr délky rozvodnice L_R a délky obvodu kruhu, jehož plocha je stejně velká jako plocha povodí P (Netopil, 1970). Srovnává tedy tvar povodí s tvarem kruhu. Výsledné hodnoty jsou větší nebo rovno jedné. Pokud se rovnají jedné, tak má povodí tvar dokonalého kruhu.

Pro povodí Svavy:

$$K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{P\pi}} = 1,528.$$

Pro povodí Načetínského potoka:

$$K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{P\pi}} = 1,521.$$

Z výsledných hodnot vyplývá, že zájmové území povodí Svatavy a Načetínského potoka mají téměř stejný tvar připomínající kruh.

Dalším jednoduchým ukazatelem tvaru povodí je *charakteristika povodí* α , kterou vypočítáme jako podíl plochy povodí P a čtverce délky povodí L . Dle výsledných hodnot můžeme charakteristiku povodí rozdělit do tří typů. Toto rozdělení se liší i podle celkové plochy povodí, kdy rozlišujeme dvě kategorie: plocha do 50 km² a nad 50 km². Obě posuzovaná povodí mají plochu vyšší než 50 km², tedy byly hodnoceny podle pravého sloupce v tabulce č. 3.

Tabulka 3: Hodnoty pro určení typu charakteristiky povodí α

Povodí	$P < 50 \text{ km}^2$	$P > 50 \text{ km}^2$
protáhlé	$\alpha < 0,24$	$\alpha < 0,18$
přechodný typ	$0,24 < \alpha < 0,26$	$0,18 < \alpha < 0,20$
vějířovité	$\alpha > 0,26$	$\alpha > 0,26$

Zdroj: Netopil (1970)

Charakteristika povodí Svatavy:

$$\alpha = \frac{P}{L^2} = 0,637.$$

Charakteristika povodí Načetínského potoka:

$$\alpha = \frac{P}{L^2} = 0,666.$$

Podle výsledných hodnot obě sledovaná povodí mají charakteristiku vějířovitého povodí.

Další hodnota, která vypovídá o tvaru povodí, je *koeficient protáhlosti povodí* R_E , který získáme jako poměr průměru kruhu o ploše stejné jako je plocha povodí P a přímkovou vzdáleností L od závěrového profilu k nejvzdálenějšímu bodu povodí. Výsledný koeficient se pohybuje v rozmezí 0 až 1, kdy 1 je tvar kruhu. (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013)

Koeficient protáhlosti povodí Svatavy:

$$R_E = \frac{2\sqrt{\frac{P}{\pi}}}{L} = 0,901.$$

Koeficient protáhlosti povodí Načetínského potoka:

$$R_E = \frac{2\sqrt{\frac{P}{\pi}}}{L} = 0,921.$$

Koeficient protáhlosti povodí ukazuje, že zájmová území povodí Svatavy i Načetínského potoka jsou si tvarem hodně podobná. Území Načetínského potoka svým tvarem připomíná kruh více než území Svatavy.

3.4.2 Říční síť

Obě sledovaná povodí mají asymetrický tvar, jak je vidět na obrázcích č. 1 a 2. Přítoky Svatavy na sledovaném území jsou pouze levostranné. Načetínský potok má naopak výraznější pravostranné přítoky.

Jedna ze základních charakteristik je *hustota říční sítě* r , která je ukazatelem velikosti povrchového odtoku. Ten je však výsledkem i mnoha jiných činitelů, jako například morfologií povrchu, půdními, vegetačním, klimatickými poměry a využití krajiny. Vypočítáme ji jako podíl celkové délky vodních toků $\sum l$ a plochy P daného povodí. (Netopil, 1970)

Hustota říční sítě povodí Svatavy:

$$r = \frac{\sum l}{P} = 0,514 \text{ km/km}^2.$$

Hustota říční sítě povodí Načetínského potoka:

$$r = \frac{\sum l}{P} = 0,491 \text{ km/km}^2.$$

Hustota říčních sítí sledovaných území je srovnatelná. Hustota říční sítě povodí Svatavy je o trochu větší. To může být dáno menším sledovaným územím.

Stupeň vývoje toku nám udává informaci o stáří toku. Určíme jej jako podíl spojnice počátečního a koncového profilu daného toku d a jeho skutečné délky l . Hodnoty blíží se 1 nám indikují narovnanější tok. Avšak může dojít ke zkreslení výsledku, když byl tok například uměle napřimován. (Keml, Kolář, 1980)

Stupeň vývoje Svatavy:

$$\frac{d}{l} = 0,781 .$$

Stupeň vývoje Načetínského potoka:

$$\frac{d}{l} = 0,717.$$

Dle výsledných hodnot má Svatavy více napřímený charakter na rozdíl od Načetínského potoka, jehož průběh je více křivolaký.

3.4.3 Orografické poměry povodí

Nadmořská výška a sklonitost území má vliv na klimatické a meteorologické podmínky, tj. na teplotu vzduchu, množství srážek, vlhkost vzduchu, výpar, sluneční záření aj. Celkově ovlivňuje složitý odtokový proces z vody povodí. (Kemel, Kolář, 1980)

Převýšení povodí Δh je jedním ze základních ukazatelů orografie povodí. Vypočítáme jej jako rozdíl maximální nadmořské výšky povodí h_{max} a minimální nadmořské výšky povodí h_{min} .

Převýšení povodí Svatavy:

$$\Delta h = h_{max} - h_{min} = 385 \text{ m}.$$

Převýšení povodí Načetínského potoka:

$$\Delta h = h_{max} - h_{min} = 357 \text{ m}.$$

Převýšení povodí Svatavy je téměř o 30 m větší než Načetínského potoka.

Dalším ukazatelem je *průměrný sklon povodí I* , v němž využíváme hodnoty převýšení povodí. Vyjadřuje poměr mezi celkovým převýšením povodí Δh a odmocninou z celkové plochy povodí. Tento ukazatel není tak přesný jako například hypsografická křivka. (Netopil, 1970)

Průměrný sklon povodí Svatavy:

$$I = \frac{\Delta h}{\sqrt{P}} = 52,436 \text{ ‰}.$$

Průměrný sklon povodí Načetínského potoka:

$$I = \frac{\Delta h}{\sqrt{P}} = 41,59 \text{ ‰}.$$

Průměrný sklon zájmového území povodí Svatavy je o více jak 10 ‰ větší než průměrný sklon zájmového území povodí Načetínského potoka. Na tento výsledek má hlavně vliv to, že zájmové území povodí Svatavy je menší než Načetínského potoka.

Průměrný sklon toku I_t se využívá na přibližné stanovení spádu vodního toku od jeho pramene až k ústí. Jeho hodnoty se uvádí nejčastěji v procentech nebo v promile. (Pavelková et al., 2009)

Průměrný sklon toku Svatavy:

$$I_t = \frac{H_{max} - H_{min}}{l} = 16,997 \text{ ‰}.$$

Průměrná sklon toku Načetínského potoka:

$$I_t = \frac{H_{max} - H_{min}}{l} = 19,442 \text{ ‰}.$$

Průměrný sklon toku Načetínského potoka je vyšší než Svatavy. Tento ukazatel vyšel opačně než průměrný sklon povodí I . To je dáno tím, že Načetínský potok pramení v nadmořské výšce o více jak 100 m větší než Svatava.

Posledním ukazatelem je *koefficient reliéfu R_h* , který udává poměr mezi převýšením povodí Δh a délkou povodí L . (Jeníček, 2011; Hrdinka, 2013)

Pro povodí Svatavy je výsledná hodnota:

$$R_h = \frac{\Delta h}{L} = 0,042.$$

Pro povodí Načetínského potoka je výsledná hodnota:

$$R_h = \frac{\Delta h}{L} = 0,034.$$

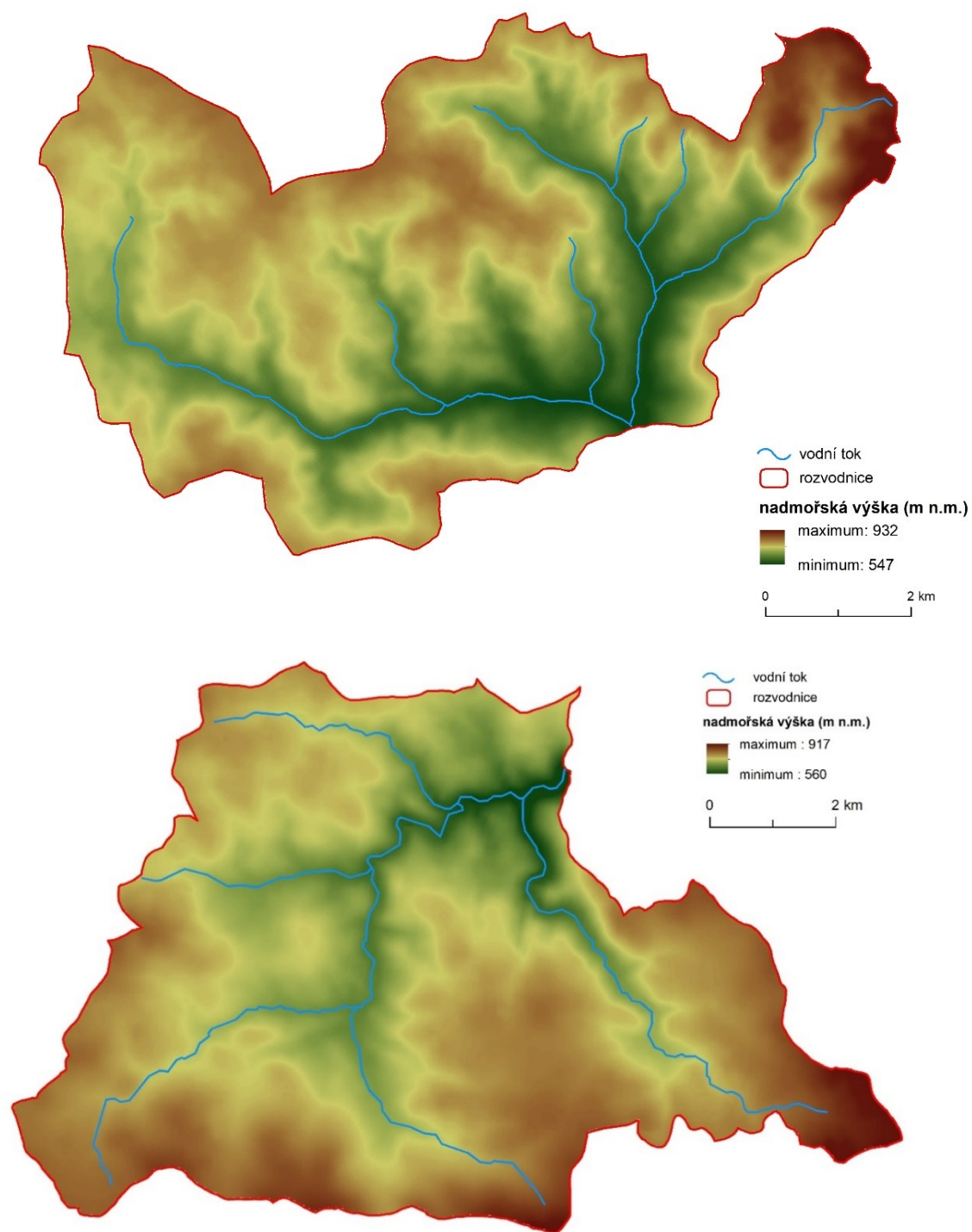
Koefficient reliéfu je vyšší u zájmového území Svatavy než u Načetínského potoka, což je způsobeno menší přímkovou vzdáleností od ústí toku k nejvzdálenějšímu bodu území.

Na obrázku č. 6 jsou znázorněny výškové mapy zájmových povodí. Je patrné, že obě povodí se nachází přibližně ve stejné nadmořské výšce a tvar jejich reliéfu si je podobný.

Tabulka 4: Hydrografické ukazatele zájmových povodí

	Svatava	Načetínský potok
Graveliův koeficient K_G	1,528	1,521
Charakteristika povodí α	0,637	0,666
Koeficient protáhlosti povodí R_E	0,901	0,921
Hustota říční sítě r (km/km ²)	0,514	0,491
Stupeň vývoje toku	0,781	0,717
Převýšení povodí Δh (m)	385	357
Průměrný sklon povodí I (‰)	52,436	41,59
Průměrný sklon toku I_t (‰)	16,997	19,442
Koeficient reliéfu R_h	0,042	0,034

Zdroj: DIBAVOD 2017, ArcGis 10.4.1



Obrázek 6: Výškové mapy zájmových území povodí Svatavy (nahore) a Načetínského potoka

Zdroj: ArcČR500, sachsen.de 2018, DIBAVOD 2017

3.5 Základní charakteristika odtoku

V tabulce č. 5 jsou uvedeny vybrané ukazatele limnigrafických stanic zájmových povodí. Všechny hodnoty jsou vypočteny z průměrných Q_d pro hydrologické období 1961–2017. Dlouhodobý průměrný průtok je vyšší pro povodí Načetínského potoka. Načetínský potok dosahuje nižších minim Q_d než řeka Svatava. Naopak vyšší Q_d se vyskytují na řece Svatavě. Medián je opět vyšší pro stanici Rothenthal. Roční objem odtoku udávající celkové množství vody, které odteče korytem řeky za jeden rok (Netopil, 1984), je vyšší pro povodí Načetínského potoka stejně jako dlouhodobý průměrný odtok. Sledované veličiny vázající se k ploše povodí dosahují vyšších hodnot pro povodí Svatavy, protože má menší plochu povodí než Načetínský potok. Tedy byly vypočteny vyšší hodnoty specifického odtoku, definovaného jako množství vody odtékající za jednotku času z jednotky plochy povodí, a odtokové výšky udávající vrstvu vody rovnoměrně rozloženou na ploše povodí řeky, která odteče za jeden rok (Netopil, 1984).

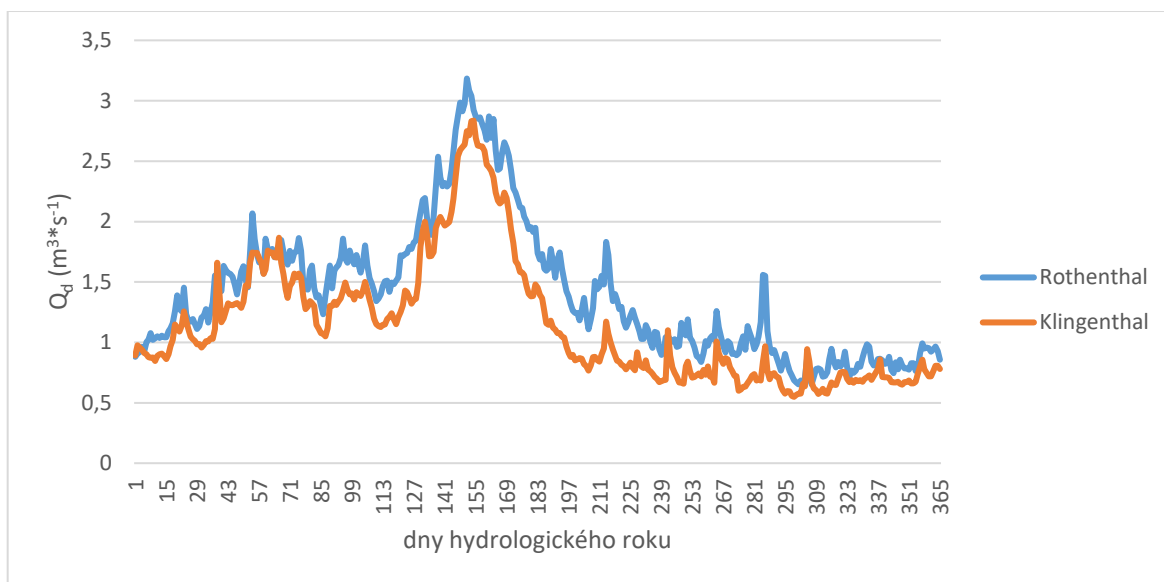
Tabulka 5: Vybrané ukazatele sledovaných povodí pro období 1961–2017

	Klingenthal	Rothenthal
plocha povodí po limn. stanice (km ²)	53,91	73,68
Q_a (m ³ *s ⁻¹)	1,15	1,4
min Q_d (m ³ *s ⁻¹)	0,09	0,06
datum min Q_d	1.11.1984	17.1.1963
max Q_d (m ³ *s ⁻¹)	40,8	37,2
datum max Q_d	8.12.1974	13.8.2002
medián	0,7	0,94
specifický odtok q_a (l*s ⁻¹ *km ⁻²)	21,33	19,05
roční objem odtoku O (km ³)	0,036	0,044
odtoková výška H_O (mm)	673	601

Zdroj: sachsen.de, 2018

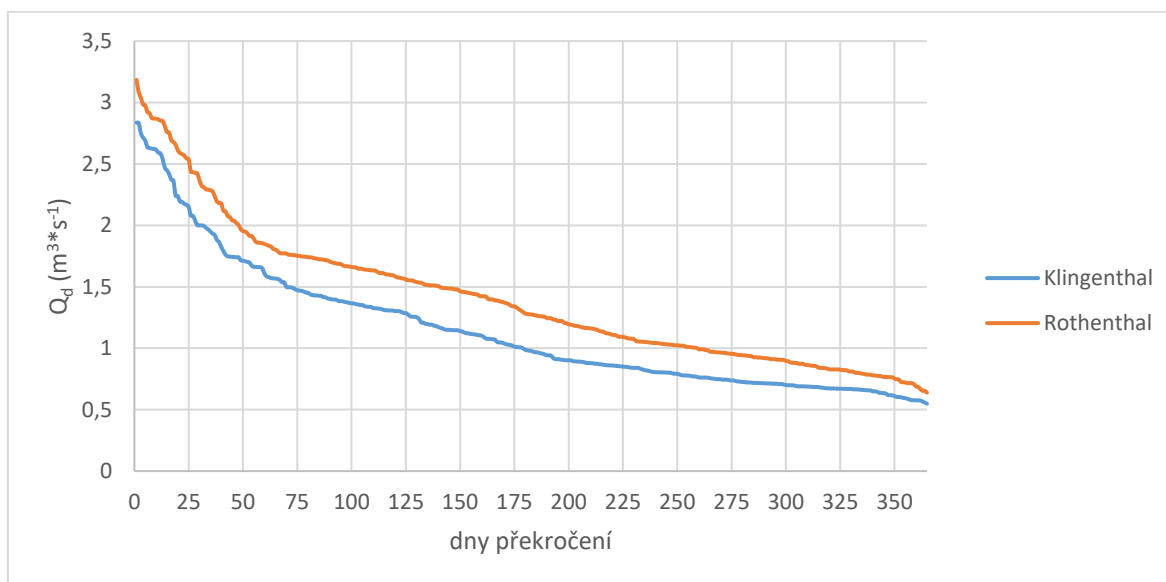
Obrázek č. 7 zobrazuje průměrné Q_d vypočtené za období 1961–2017 pro oba sledované profily. Je dobře znatelné, že Načetínský potok má téměř po celé období větší průtok. Obě křivky mají velmi podobný tvar. Malých rozdílů si lze všimnout v průběhu prosince, kdy Svatava dosahuje vyšších průtoků. To může být způsobeno tím, že horní tok Načetínského potoka se nachází ve vyšší nadmořské výšce, a tudíž zde začnou padat pevné srážky, které

koryto toku zadrží déle, zatímco v povodí Svatavy padají dešťové srážky, které se do toku dostanou mnohem dříve. Křivky průměrného překročení jsou zobrazeny na obrázku č. 8. Opět je jednoznačně vidět, že celkový průtok Načetínského potoka je vyšší než Svatavy a že obě křivky mají podobný tvar.



Obrázek 7: Dlouhodobé průměrné průtoky sledovaných profilů, 1961–2017

Zdroj: sachsen.de, 2018



Obrázek 8: Průměrné křivky překročení Q_d sledovaných profilů, 1961–2017

Zdroj: sachsen.de, 2018

3.6 Pedologické poměry a krajinný pokryv

Půdní pokryv má vliv na velikost a intenzitu vsaku vody, tedy i na časové a plošné rozložení odtoku. Zrnitost a struktura půdy, ovlivněna obsahem humusu, vlhkostí a dalšími vlastnostmi, určuje míru propustnosti půd (Netopil, 1984). Hodnocení půd proběhlo na základě údajů z německé stránky sachsen.de (2018). Bohužel pro českou část území nebyly volně k dispozici tak podrobná data.

Obě sledované části zájmových povodí mají velmi podobné zastoupení půdních typů. Nejčastěji se zde nacházejí hnědé půdy na fylitovém skalním podkladu. Jde o vývojově mladé půdy vyskytující se v pahorkatinách, vrchovinách a horách, tedy v oblastech s nadmořskou výškou 450 až 800 m n. m. Jsou pro ně typické humidnější oblasti s ročním úhrnem srážek mezi 500 až 900 mm a průměrnou teplotou 4 až 9 °C. Druhým nejčastěji zastoupeným půdním typem jsou podzoly, ležící v nejvyšších horských polohách (s nadmořskou výškou přes 800 m n. m.), ve velmi vlhkém a chladném klimatu, s ročním úhrnem srážek přes 800 mm a průměrnou roční teplotou mezi 0 až 6 °C. Třetím nejrozšířenějším půdním typem jsou pseudogleje vyskytující se v okolí vodních toků. Typickým procesem probíhajícím v těchto půdách je oglejení, který je dán periodickým zvyšováním a snižováním hladiny podzemní vody. (Tomášek, 1995)

V tabulce č. 6 je zobrazeno plošné a procentuální zastoupení jednotlivých typů krajinného pokryvu sledovaného území povodí Svatavy v letech 1990, 2000, 2006 a 2012. Největší zastoupení má jednoznačně jehličnatý les, jehož rozloha za sledované období mírně roste. Druhou nejvíce zastoupenou kategorií je nesouvislá zástavba, jejíž rozloha také roste. Na obrázku č. 11 jsou znázorněny mapy krajinného pokryvu za jednotlivé roky. Zde si lze povšimnout zřejmé změny kategorizace některých území. Například zařazení přechodového stádia lesa a křovin v roce 2000 do kategorie jehličnatých lesů nebo přechod polopřírodních zemědělských ploch v roce 2012 mezi pastviny. Procentuální zastoupení je zobrazeno v obrázku č. 9.

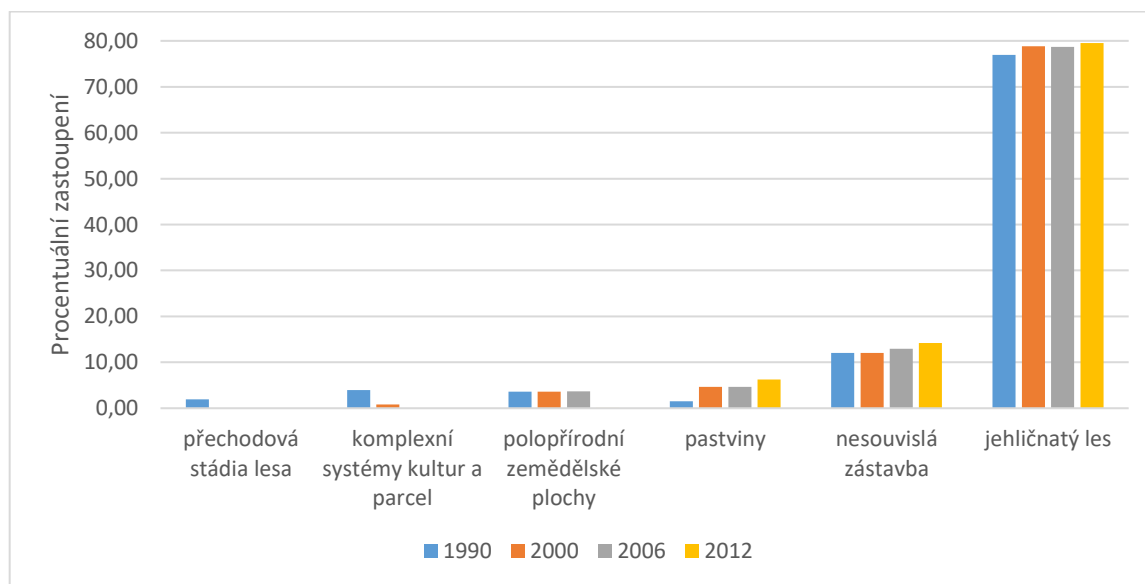
V tabulce č. 7 je zobrazeno plošné a procentuální zastoupení jednotlivých typů krajinného pokryvu sledovaného území povodí Načetínského potoka v letech 1990, 2000, 2006 a 2012. Nejvíce zastoupeným typem krajinného pokryvu jsou přechodová stádia lesa, jejichž zastoupení během sledovaných let klesá. Většinou je to způsobeno změnou kategorizace na druhou nejvíce zastoupenou kategorii – jehličnatý les, jak je vidět v obrázku č. 12. V roce

2012 došlo k výraznému navýšení rozlohy pastvin, což bylo dáno přesunem komplexních systémů kultur a parcel právě na pastviny. Ve srovnání s územím Svatavy je území Načetínského potoka více různorodé. Nachází se zde značná území smíšených lesů, rašelinišť a orné půdy, která se na území Svatavy vůbec nevyskytují. Dále na rozdíl od území Svatavy je zde daleko menší podíl nesouvislé zástavby, protože se zde nachází pouze malá vesnice na území Německa. Detailnější procentuální zastoupení je zobrazeno v obrázku č. 10.

Tabulka 6: Vývoj zastoupení typů krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Svatavy

kategorie	1990 (km ²)	2000 (km ²)	2006 (km ²)	2012 (km ²)
nesouvislá zástavba	6,49	6,49	6,97	7,66
pastviny	0,80	2,51	2,51	3,39
komplexní systémy kultur a parcel	2,15	0,44	0,00	0,00
polopřírodní zemědělské plochy	1,95	1,95	1,99	0,00
jehličnatý les	41,47	42,48	42,44	42,86
přechodová stádia lesa	1,05	0,04	0,00	0,00
celková rozloha	53,91	53,91	53,91	53,91

Zdroj: CORINE 2012



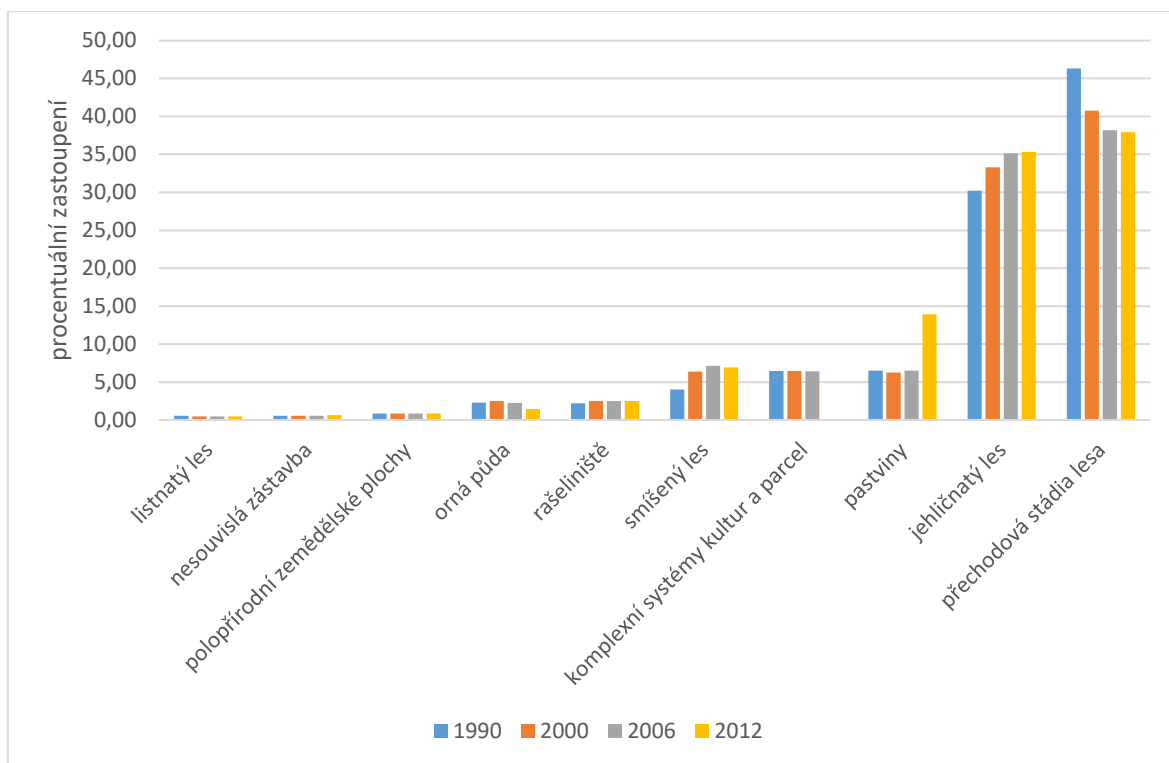
Obrázek 9: Graf vývoje procentuálního zastoupení krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Svatavy

Zdroj: CORINE 2012

Tabulka 7: Vývoj zastoupení typů krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Načetínského potoka

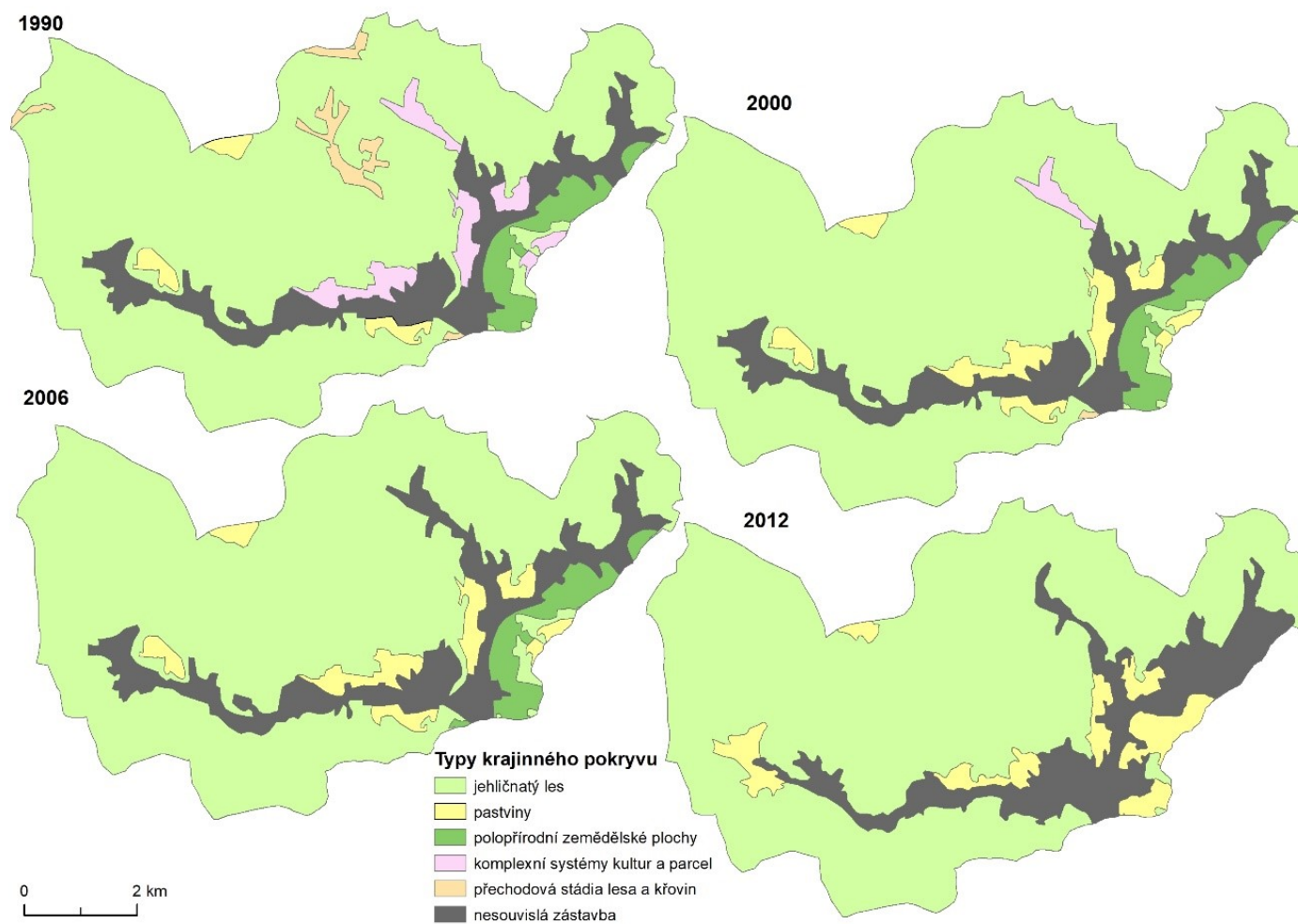
kategorie	1990 (km ²)	2000 (km ²)	2006 (km ²)	2012 (km ²)
nesouvislá zástavba	0,42	0,42	0,42	0,46
orná půda	1,69	1,85	1,65	1,06
pastviny	4,79	4,60	4,80	10,26
komplexní systémy kultur a parcel	4,77	4,77	4,72	0,03
polopřírodní zemědělské plochy	0,62	0,62	0,62	0,61
listnatý les	0,40	0,34	0,34	0,34
jehličnatý les	22,26	24,52	25,89	26,03
smíšený les	2,97	4,70	5,26	5,11
přechodová stádia lesa	34,14	30,02	28,13	27,93
rašeliniště	1,63	1,85	1,85	1,85
celková rozloha	73,68	73,68	73,68	73,68

Zdroj: CORINE 2012



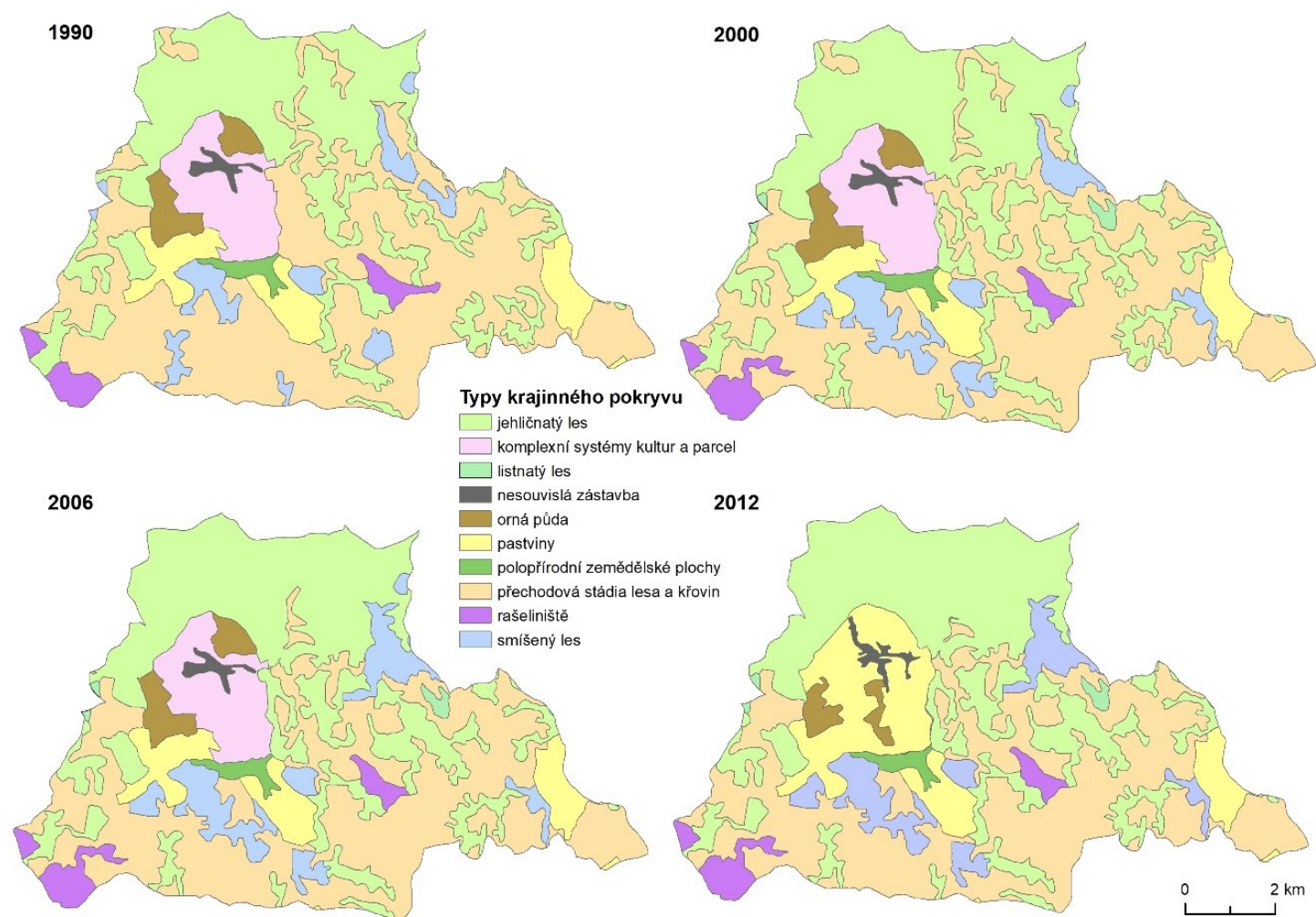
Obrázek 10: Graf vývoje procentuálního zastoupení krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Načetínského potoka

Zdroj: CORINE 2012



Obrázek 11: Mapa typů krajinného pokryvu povodí Svatavy v letech 1990, 2000, 2006 a 2012

Zdroj: CORINE 2012



Obrázek 12: Mapa typů krajinného pokryvu povodí Načetínského potoka v letech 1990, 2000, 2006 a 2012

Zdroj: CORINE 2012

4 Výsledky

Následující kapitoly shrnují výsledky jednotlivých hydroklimatických faktorů, konkrétně teploty vzduchu, srážek a průtoků. Byly zkoumány průměrné denní, měsíční a roční hodnoty pro obě sledované části povodí.

4.1 Trendy průměrných měsíčních a ročních teplot

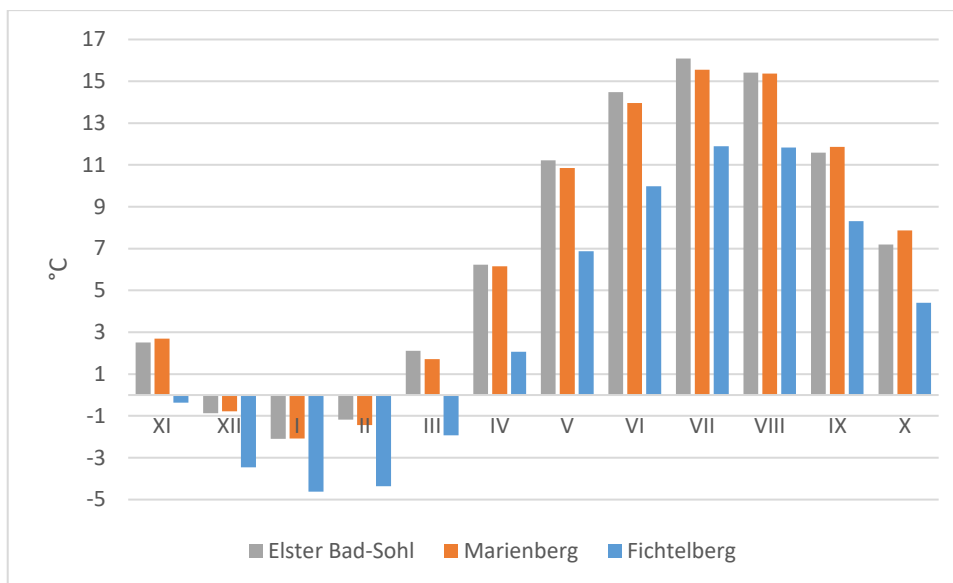
Dlouhodobý průměr roční teploty stanice Elster Bad-Sohl je asi 6,9 °C a stanice Marienberg je 6,85 °C. Pro srovnání stanice Fichtelberg má dlouhodobou roční průměrnou teplotu 3,9 °C, jenže tato stanice se nachází ve vyšší nadmořské výšce než zbylé dvě stanice. Při srovnání dvou částí sledovaného období došlo ke zvyšování teplot. Průměrná teplota na sledovaných klimatických stanicích se zvedla o 0,93 °C (Elster Bad-Sohl, Marienberg) a 1,06 °C (Fichtelberg). Průměrné teploty jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tabulka 8: Průměrné teploty

název klimatické stanice	dlouhodobá průměrná roční teplota (°C)	průměrná teplota (°C) 1961–1988	průměrná teplota (°C) 1989–2017
Elster Bad-Sohl	6,9	6,43	7,36
Marienberg	6,85	6,37	7,31
Fichtelberg	3,9	2,85	3,91

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018

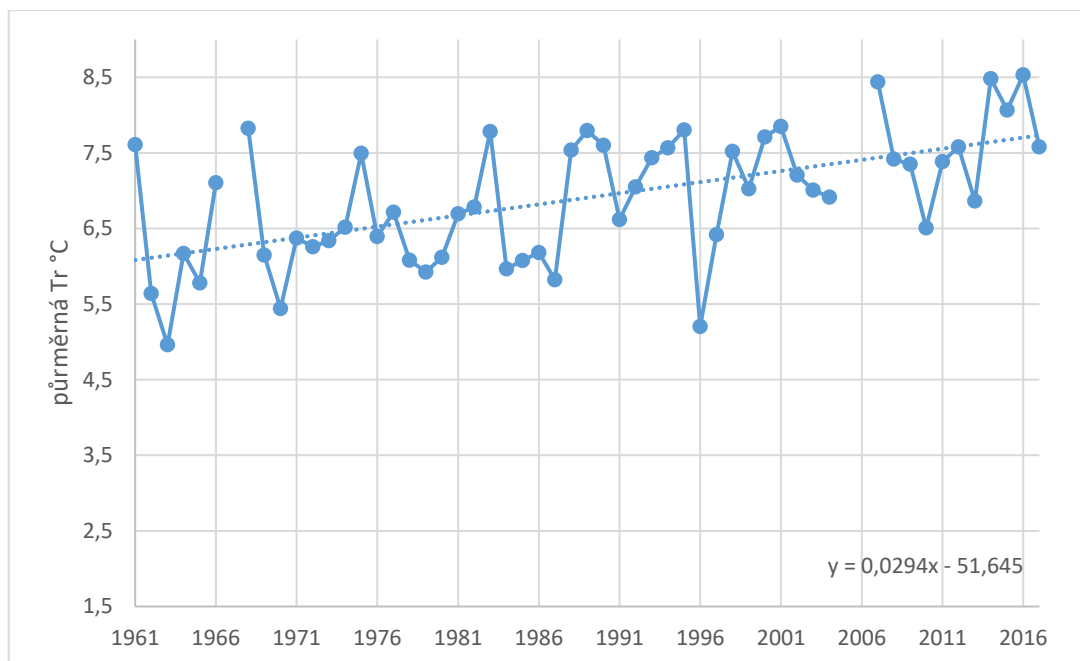
Nejvyšší průměrná teplota byla zaznamenána v červenci – 16,09 °C pro stanici Elster Bad-Sohl, 15,56 °C pro stanici Marienberg a 11,89 °C pro stanici Fichtelberg. Nejnižší průměrné teploty je dosahováno v lednu – -4,61 °C pro stanici Fichtelberg, -2,1 °C pro stanici Elster Bad-Sohl a -2,08 °C pro stanici Marienberg. Na obrázku č.13 je patrné, že stanice pro sledovaná povodí mají podobný průběh průměrných měsíčních teplot. Rozdíly lze nalézt v období od února do července, kdy jsou průměrné T_m vyšší pro povodí Svatavy a od září do prosince jsou teploty vyšší v povodí Načetínského potoka. Tedy zájmová část povodí Svatavy se vyznačuje o něco vyššími průměrnými teplotami než povodí Načetínského potoka. Pro leden se tyto hodnoty liší pouze o 0,02 °C a v červenci o 0,53 °C.



Obrázek 13: Graf průměrných měsíčních teplot za období 1961–2017

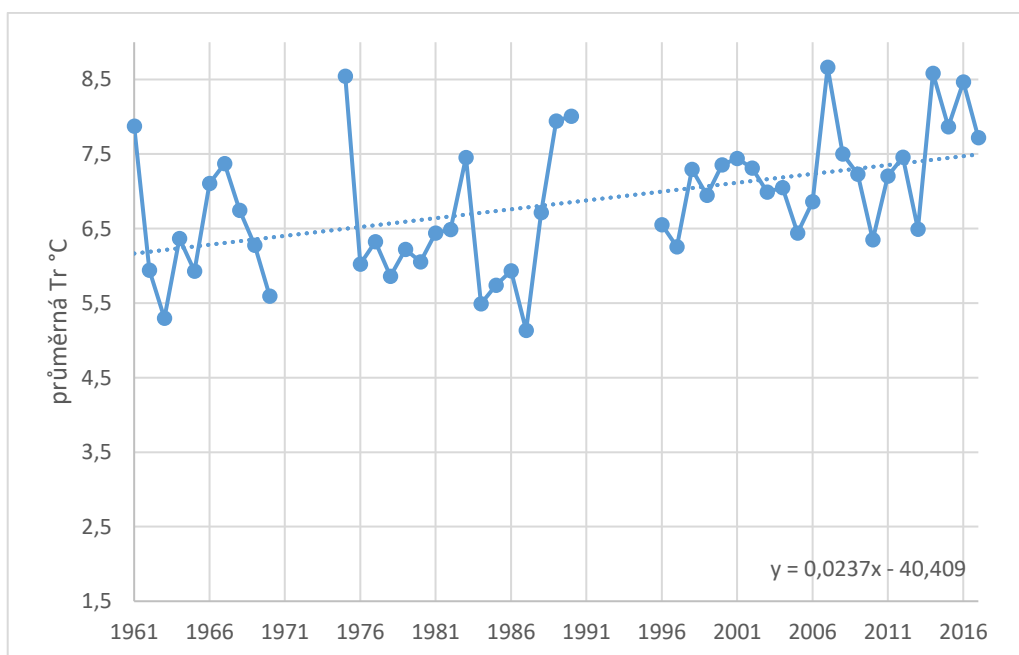
Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018

Za sledované období došlo v obou povodích k výrazným změnám teplot. K základní detekci jejich vývoje bylo využito regresní analýzy lineárního trendu průměrných T_r . Výsledky, které jsou zobrazeny na obrázcích 14–16, zobrazují u všech stanic rostoucí trend. Stanice Elster Bad-Sohl pro zájmovou část povodí Svatavy zaznamenala nárůst o více jak 1,5 °C, což je o něco víc než pro Marienberg pro povodí Načetínského potoka, kde byl nárůst o trochu menší než 1,5 °C. Na stanici Fichtelberg došlo také k nárůstu lineárního trendu a ke zvýšení teploty o více jak 1,5 °C, které bylo zaznamenáno také pro povodí Svatavy.



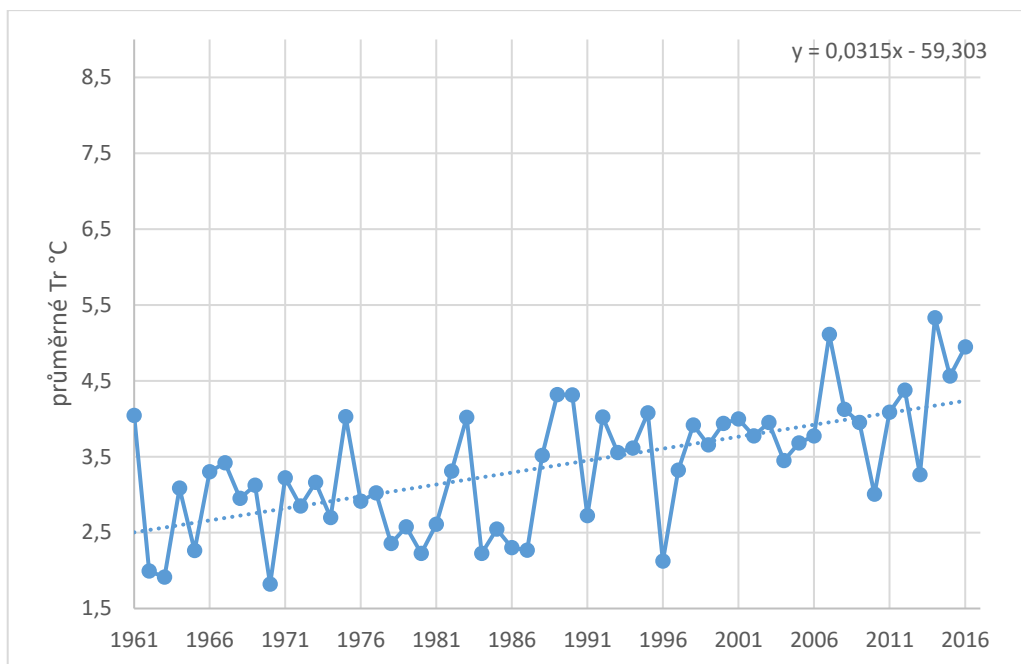
Obrázek 14: Průměrná roční teplota stanice Elster Bad-Sohl za období 1961–2017

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018



Obrázek 15: Průměrná roční teplota stanice Marienberg za období 1961–2017

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018



Obrázek 16: Průměrná roční teplota stanice Fichtelberg za období 1961–2017

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018

K analýze dlouhodobého ročního trendu a jednotlivých měsíčních trendů byl využit Mann-Kendallův statistický test, který odhalil signifikantní nárůst průměrných T_m na všech třech stanicích. Výsledky Mann-Kendallova testu jsou zobrazeny v tabulce č. 9. Zvyšování průměrných teplot je znázorněno červeným zvýrazněním. Byl zjištěn výrazný pozitivní trend ve zvyšování průměrných T_r pro všechny datové řady. Na stanici Elster Bad-Sohl byl odhalen významný nárůst T_m v období od března do srpna. Na stanici Marienberg signifikantně narostla průměrná T_m v únoru na rozdíl od stanice Elster Bad-Sohl, kde tento trend nebyl stanoven. Dále nebyly pro stanici Marienberg zjištěny trendy pro měsíce březen a červen, zatímco pro stanici Elster Bad-Sohl zde nárůsty odhaleny byly. Ve srovnání se stanicí Fichtelberg je zde znatelná podobnost mezi signifikantním nárůstem teplot období dubna až srpna, které se prokázalo i pro stanici Elster Bad-Sohl. Stanice Fichtelberg a Marienberg vykazovaly stejný nárůst v prosinci. Navíc Mann-Kendallův test odhalil signifikantní nárůst teploty i v listopadu, který se pro stanice dvou sledovaných povodí neprokázal. U všech třech stanic nebyl odhalen žádný trend v měsících lednu, únoru, září a říjnu.

Tabulka 9: Dlouhodobý měsíční a roční trend pro průměrné teploty podle Mann-Kendallova testu

	Elster Bad-Sohl		Marienberg		Fichtelberg	
	MK - Stat	P-hodnota	MK - Stat	P-hodnota	MK - Stat	P-hodnota
listopad	1,1713	0,2415	0,9051	0,3654	2,2511	0,0244
prosinec	1,5743	0,1154	2,1894	0,0286	2,3888	0,0169
leden	1,2460	0,2128	1,1646	0,2442	1,1428	0,2531
únor	1,2385	0,2155	0,9396	0,3474	1,2942	0,1956
březen	2,5119	0,0120	1,7065	0,0879	1,8725	0,0611
duben	2,0966	0,0360	1,9999	0,0455	2,8228	0,0048
květen	3,0928	0,0020	2,5598	0,0105	3,3112	0,0009
červen	2,0546	0,0399	0,9224	0,3563	2,1340	0,0328
červenec	3,7027	0,0002	2,5953	0,0095	2,8776	0,0040
srpen	4,7046	0,0000	3,4824	0,0005	3,6761	0,0002
září	0,7461	0,4556	-0,0345	0,9725	0,3442	0,7307
říjen	0,9583	0,3379	-0,3393	0,7344	-0,0138	0,9890
rok	4,4243	0,0000	3,0961	0,0020	4,7223	0,0000

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018

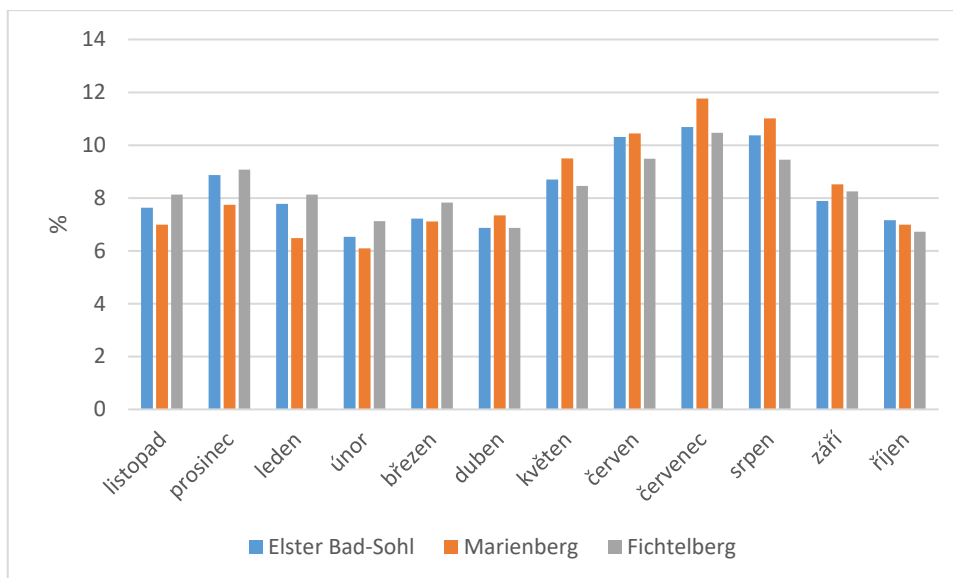
4.2 Trendy průměrných měsíčních a ročních srážek

Dlouhodobý průměrný úhrn srážek H_r stanice Marienberg je asi 862 mm a stanice Elster Bad-Sohl 759 mm. Ve srovnání se stanicí Fichtelberg, která má dlouhodobé průměrné H_r 1148 mm, dopadne na obě sledovaná území méně srážek. Rozdíly v množství spadených srážek je dán nadmořskou výškou a návětrností svahů. Při srovnání dvou dlouhodobých průměrů za sledovaná období 1961–1988 a 1989–2017 byl zaznamenán úbytek srážek pro stanici Elster Bad-Sohl (3 mm) a Marienberg (25 mm). Ve stanici Fichtelberg srážky narostly o 40 mm. Konkrétní hodnoty jsou zobrazeny v tabulce č. 10.

Tabulka 10: Průměrné roční úhrny srážek

název klimatické stanice	dlouhodobé průměrné roční srážky (mm)	průměrné srážky (mm) 1961–1988	průměrné srážky (mm) 1989–2017
Elster Bad-Sohl	759	761	757
Marienberg	862	874	849
Fichtelberg	1148	1127	1167

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018



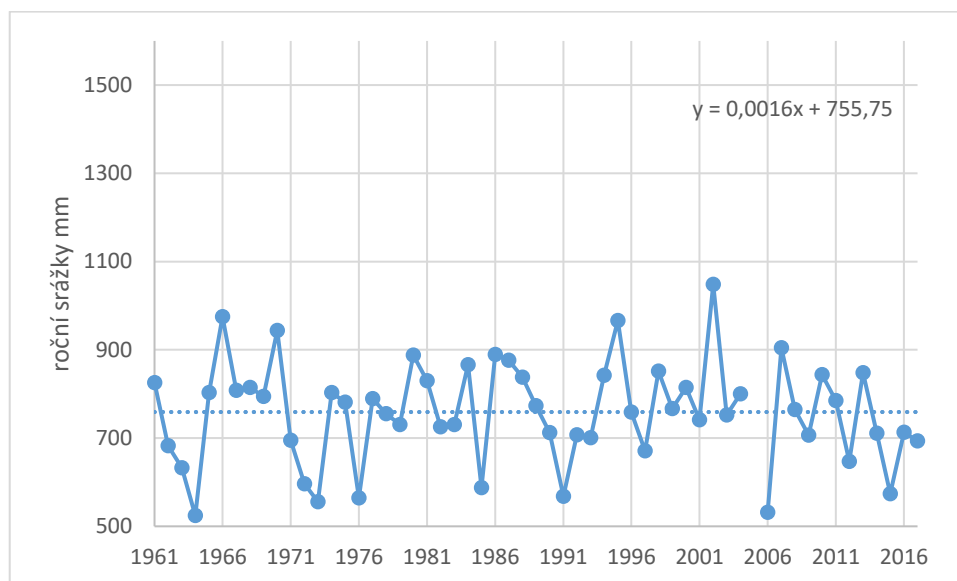
Obrázek 17: Graf měsíčního rozložení srážek, období 1961–2017

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018

Na obrázku č.17 je zobrazeno měsíční rozložení dlouhodobého průměru srážek za období 1961–2017. Největší podíl srážek spadne během léta (červen, červenec, srpen) – 33 % ve stanici Marienberg, 31 % ve stanici Elster Bad-Sohl a 29 % ve stanici Fichtelberg. V podílu nejméně napadaných srážek se sledované stanice liší. Nejsušší období během roku v povodí Načetínského potoka je zima, kdy spadne přibližně 20 % srážek. Na rozdíl od sledované části povodí Svatavy napadne nejméně srážek na podzim (22,68 %). Zbylá dvě období pro sledovaná povodí se v množství srážek příliš neliší. Při srovnání se stanicí Fichtelberg je také nejsušším obdobím podzim (23,12 %), ale od jara se liší pouze o 0,03 %. Nejvyšší úhrn srážek H_m všech sledovaných stanic připadá na měsíc červenec. Nejnížší úhrn srážek H_m na stanicích Elster Bad-Sohl a Marienberg nastává v únoru a stanici Fichtelberg v říjnu.

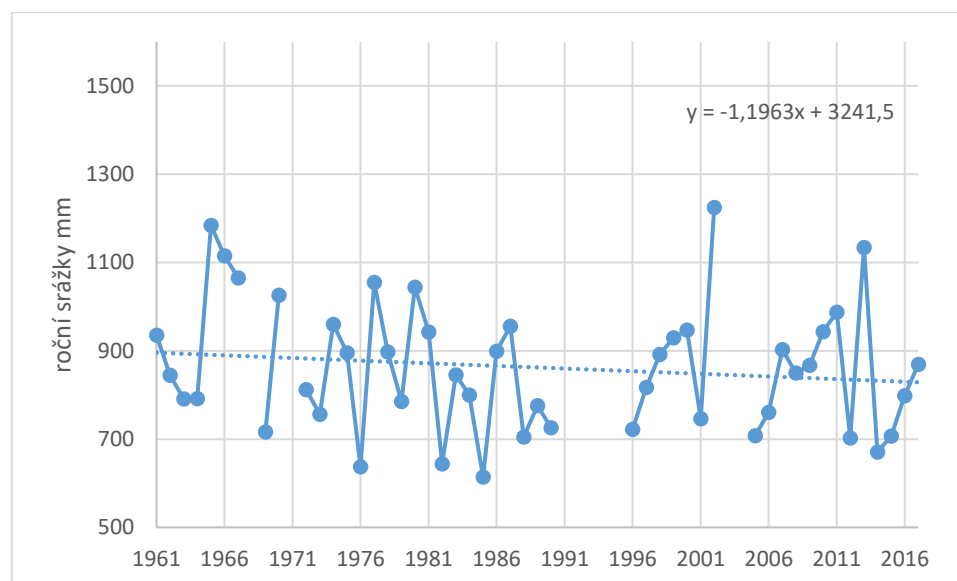
Metodou regresní analýzy lineárního trendu byly zkoumány vývoje množství průměrných H_r pro jednotlivé stanice za období 1961–2017. Pro stanici Elster Bad-Sohl nebyl odhalen žádný výrazný trend. Pro stanici Marienberg byla odhalena dlouhodobá klesající tendence, kdy množství průměrných ročních srážek kleslo o více jak 50 mm během období 1961–2017. Na třetí sledované stanici (Fichtelberg) byl na rozdíl od předešlých výsledků zaznamenán stoupající trend. Průměrné množství srážek se zvýšilo téměř o 100 mm během stejného období jako u stanice Marienberg. Všechny výsledky zjištěny pomocí lineární regrese

korespondují s průměrnými hodnotami srážek uvedených v tabulce č. 9. Dané výsledky jsou zobrazeny na obrázcích č. 18–20.



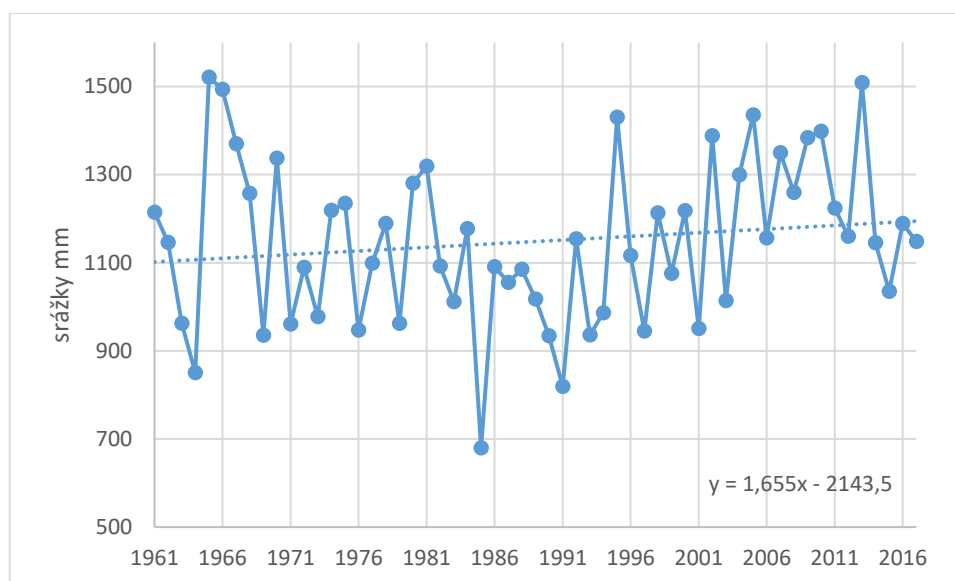
Obrázek 18: Průměrné roční srážky stanice Elster Bad-Sohl za období 1961–2017

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018



Obrázek 19: Průměrné roční srážky stanice Marienberg za období 1961–2017

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018



Obrázek 20: Průměrné roční srážky stanice Fichtelberg za období 1961–2017

Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018

Tabulka 11: Dlouhodobý měsíční a roční trend pro průměrné srážky podle Mann-Kendallova testu

	Elster Bad-Sohl		Marienberg		Fichtelberg	
	MK - Stat	P-hodnota	MK - Stat	P-hodnota	MK - Stat	P-hodnota
listopad	0,5953	0,5516	0,2259	0,8213	0,8605	0,3895
prosinec	-0,1162	0,9075	-0,3103	0,7563	0,3717	0,7101
leden	1,0672	0,2859	-0,0084	0,9933	1,5007	0,1334
únor	-1,5245	0,1274	-1,5309	0,1258	-0,2891	0,7725
březen	-0,8057	0,4204	-1,0044	0,3152	-0,0344	0,9725
duben	-2,2687	0,0233	-2,3103	0,0209	-2,0102	0,0444
květen	-1,1591	0,2464	-1,4999	0,1337	-1,4388	0,1502
červen	-0,5230	0,6010	-1,3636	0,1727	-0,5989	0,5492
červenec	1,8164	0,0693	0,2751	0,7832	1,3424	0,1795
srpen	-0,3180	0,7504	0,4310	0,6665	0,3924	0,6948
září	1,9384	0,0526	0,5354	0,5924	1,2185	0,2230
říjen	1,9930	0,0463	1,5726	0,1158	1,9826	0,0474
rok	-0,5507	0,5818	-0,7824	0,4340	1,1427	0,2532

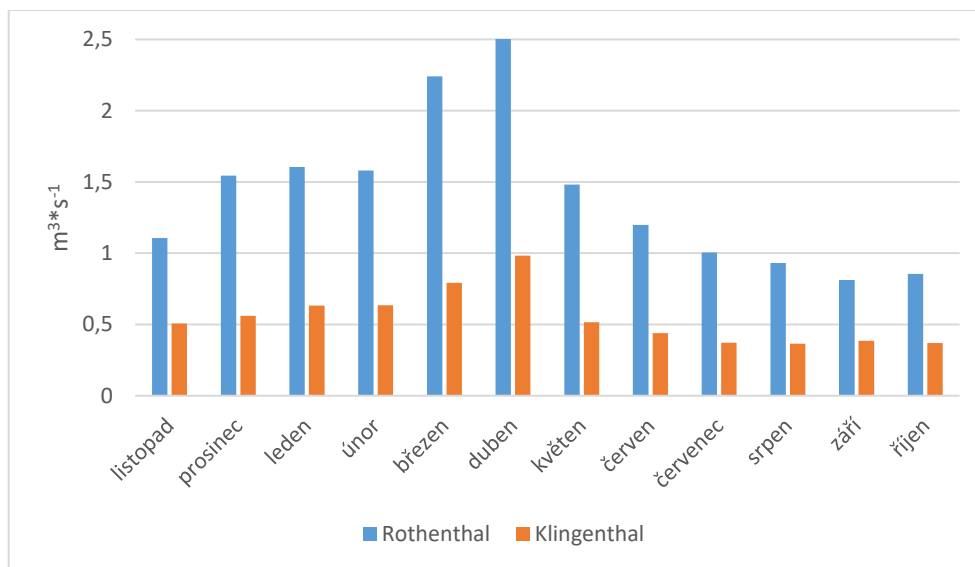
Zdroj: Deutscher Wetterdienst, 2018

K potvrzení či vyvrácení výše uvedených trendů byl použit Mann-Kendallův statistický test pro průměrné H_m a H_r . Jediný signifikantní úbytek srážek byl zaznamenán na všech třech stanicích v měsíci dubnu. Naopak jediný statisticky významný přírůstek srážek vyšel pro měsíc říjen, tentokrát ale pouze pro stanice Elster Bad-Sohl a Fichtelberg. Nebyl zjištěn žádný statisticky významný výsledek trendu S_r . Tedy předešlé hypotézy ročních změn srážek

pro jednotlivé stanice nebyly statistických testem potvrzeny. Výsledky Mann-Kendallova jsou zobrazeny v tabulce č. 11. Úbytek srážek je vyznačen modře, nárůst červeně.

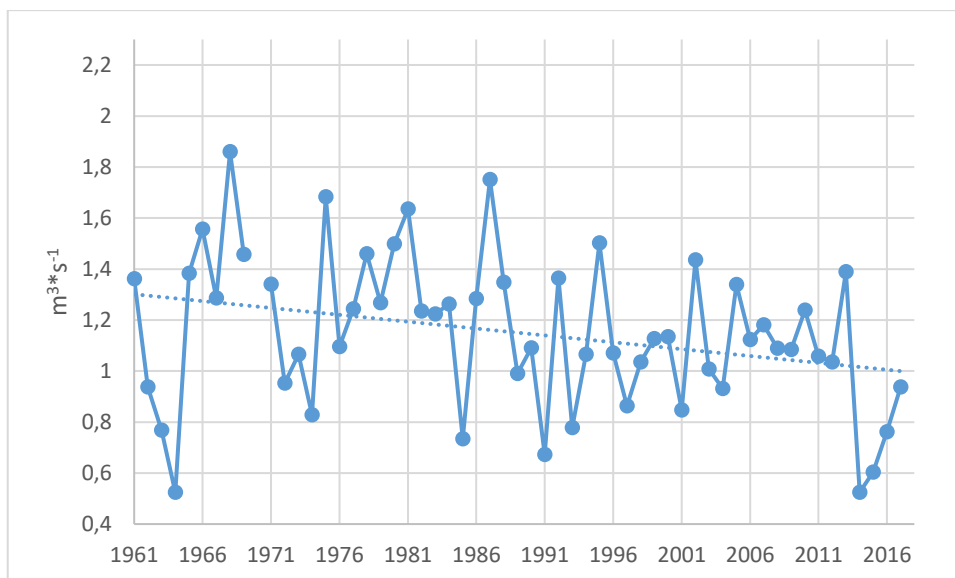
4.3 Trendy průměrných měsíčních a ročních průtoků

Nejvyšších průměrných Q_m dosahuje řeka Svatava v dubnu a nejnižších v období od července do září. Načetínský potok má stejně jako Svatava nejvodnatější měsíc duben, ale průměrné průtoky pak postupně klesají a svého minima dosáhnou v září a pak opět začnou mírně růst. Tedy méně vodnaté období řeky Svatavy je delší a výraznější než u Načetínského potoka. Přes 28 % vody z obou povodí odečte během března a dubna. Průběh průměrných měsíčních průtoků je zobrazen na obrázku č. 21. Změna sezónního rozložení odtoku za období 1961–2017 je zobrazena v přílohách 1 a 2. Je zde patrné posunutí Q_m -max na dřívější měsíce. K potvrzení této hypotézy byl použit Mann-Kendallův statistický test, který testoval měsíční a roční trendy (viz níže). K základnímu vyhodnocení celkového vývoje průměrných ročních průtoků bylo využito metody lineární regrese, která je zobrazena na obrázcích č. 22. a 23. Na obou povodích došlo ke zmenšení průměrného Q_r o více jak $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ za období 1961–2017. Tyto úbytky mohou být způsobeny oteplováním a tedy větším výparem. Zvyšování teplot odhalila metoda lineární regrese a Mann-Kendallův statistický test (viz výše).



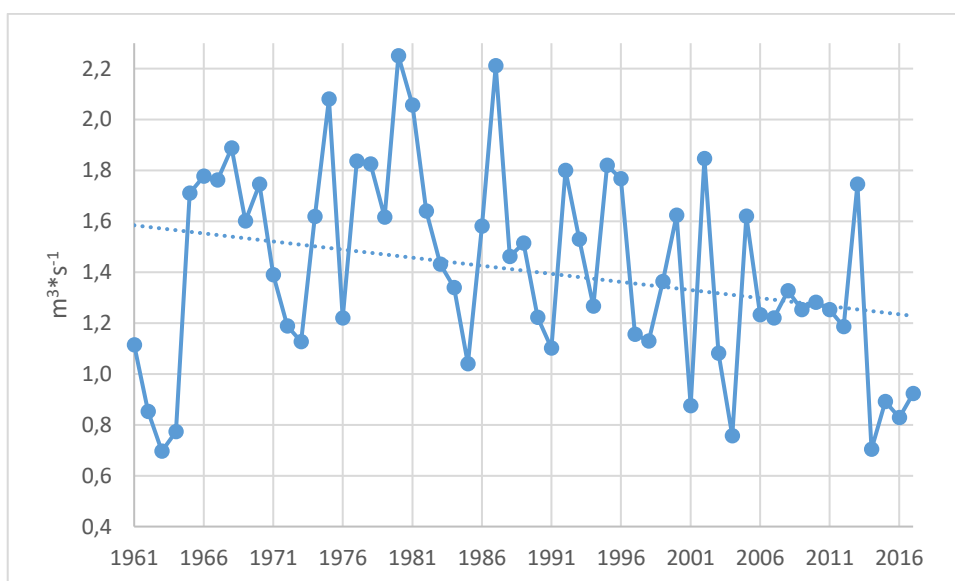
Obrázek 21: Průměrné měsíční průtoky, 1961–2017

Zdroj: sachsen.de, 2018



Obrázek 22: Průměrné roční průtoky profilu Klingenthal, 1961–2017

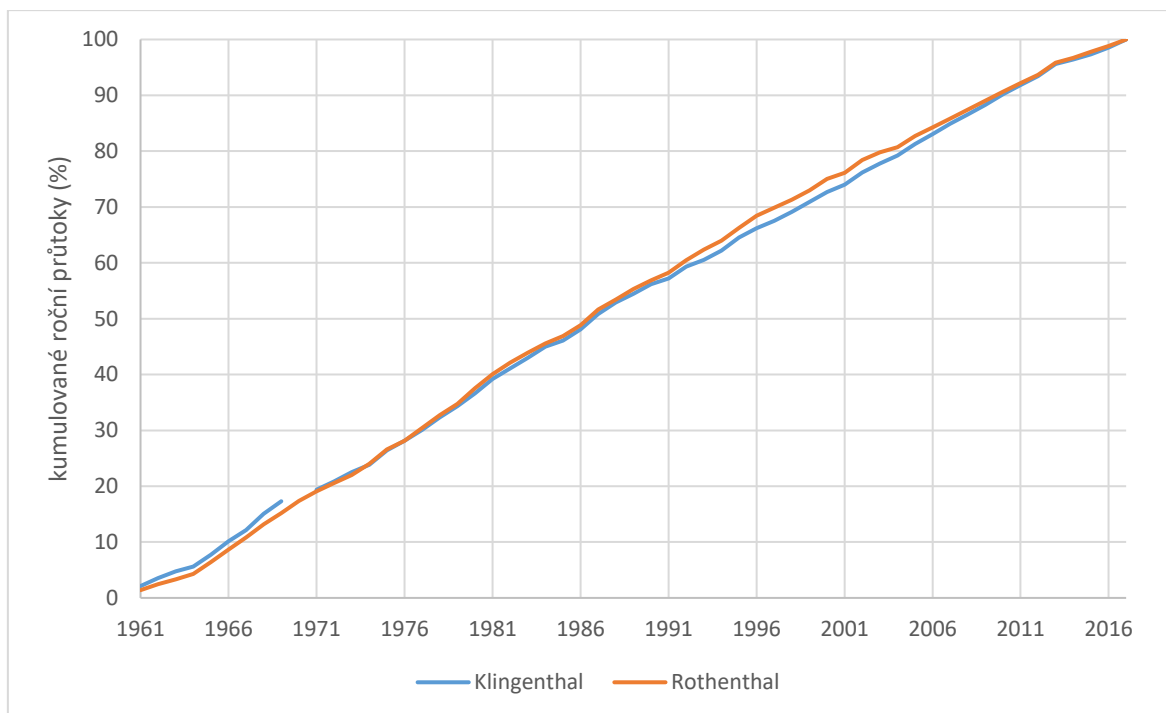
Zdroj: sachsen.de, 2018



Obrázek 23: Průměrné roční průtoky profilu Rothenthal, 1961–2017

Zdroj: sachsen.de, 2018

Pomocí metody jednoduchých součtových čar došlo k počátečnímu zhodnocení trendu průtoku v sledovaném období 1961–2017. Trend obou profilů je velmi podobný. Největší rozdíly v jejich chodu se objevují pouze v letech 1961–1971, kdy byl průtok Svatavy výraznější a mezi lety 1991–2006, kdy se naopak navýšil průtok Načetínského potoka. Podrobný průběh jednoduchých součtových čar je vyznačen na obrázku č. 24.



Obrázek 24: Jednoduché součtové čáry Q_r sledovaných profilů, 1961–2017

Zdroj: sachsen.de, 2018

4.3.1 Mann-Kendallův statistický test průměrných Q_m a Q_r

K podrobnému zkoumání měsíčních a ročních trendů byl použit Mann-Kendallův statistický test. Při srovnání datových řad o stejné délce, tj. za období 1961–2017, byl zjištěn zcela identický trend pro obě stanice. Byl identifikován signifikantní pokles průměrných Q_m pro obě povodí v období od dubna až do července. Také byl zaznamenán významný pokles průměrných Q_r pro obě stanice. Tento test potvrdil hypotézu klesajících ročních průtoků, která byla stanovena na základě metody lineární regrese.

Výsledky pro stanici Rothenthal v období od hydrologického roku 1929 se již od kratších datových řad liší. V rámci celoročního průměrného průtoku nebyl zjištěn žádný trend na rozdíl od klesajícího trendu pro kratší sledované období. Dále se výsledky rozcházejí v měsících prosinci a březnu, kdy byl odhalen signifikantní nárůst průtoků. Pro měsíce leden a únor nebyla překročena hladina spolehlivosti (P-hodnota) jen o tisíce. Dále se výsledky liší pro měsíce červen a červenec, kdy na dlouhé datové řadě nebyl odhalen žádný trend, oproti klesajícímu trendu pro kratší datové řady obou stanic. Všechny tři testy odhalily stejný signifikantní klesající trend pro měsíce duben a květen. Výsledky Mann-Kendallova testu

jsou zobrazeny v tabulce č. 12. Klesající trendy jsou znázorněny modře, rostoucí červeně a hodnoty na hranici spolehlivost světle zeleně.

Tabulka 12: Dlouhodobý měsíční a roční trend pro průměrné průtoky podle Mann-Kendallova testu

	Klingenthal (1961-2017)		Rothenthal (1961-2017)		Rothenthal (1929-2017)	
	MK - Stat	P-hodnota	MK - Stat	P-hodnota	MK - Stat	P-hodnota
listopad	0,1838	0,8542	0,3304	0,7411	-0,0354	0,9717
prosinec	-0,0565	0,9549	-0,3029	0,7620	2,0696	0,0385
leden	1,2015	0,2296	0,9913	0,3216	1,9527	0,0509
únor	1,0319	0,3021	0,6264	0,5310	1,9456	0,0517
březen	0,4947	0,6208	0,8880	0,3745	2,2716	0,0231
duben	-3,7317	0,0002	-3,1528	0,0016	-2,2539	0,0242
květen	-4,7777	0,0000	-4,4334	0,0000	-3,3029	0,0010
červen	-2,8129	0,0049	-4,0615	0,0000	-1,8783	0,0603
červenec	-2,2051	0,0274	-2,3750	0,0175	-1,4813	0,1385
srpen	-1,2439	0,2135	-1,6108	0,1072	-0,7938	0,4273
září	-0,8269	0,4083	-1,0808	0,2798	0,1134	0,9097
říjen	0,5018	0,6158	-0,4544	0,6496	-0,7159	0,4741
rok	-2,3040	0,0212	-2,1823	0,0291	0,2481	0,8041

Zdroj: sachsen.de, 2018

Tabulka 13: Dlouhodobý měsíční a roční trend pro minimální průtoky podle Mann-Kendallova testu

	Klingenthal		Rothenthal	
	MK- Stat	P-hodnota	MK- Stat	P-hodnota
listopad	-1,167	0,243	-0,695	0,487
prosinec	-0,630	0,529	0,186	0,853
leden	0,311	0,756	1,467	0,143
únor	0,403	0,687	0,034	0,973
březen	0,672	0,501	1,157	0,247
duben	-3,854	0,000	-3,822	0,000
květen	-4,755	0,000	-3,636	0,000
červen	-3,219	0,001	-3,567	0,000
červenec	-2,954	0,003	-2,679	0,007
srpen	-2,804	0,005	-2,562	0,010
září	-2,278	0,023	-2,004	0,045
říjen	-0,920	0,358	-1,611	0,107
rok	-3,696	0,000	-3,415	0,001

Zdroj: sachsen.de, 2018

Mann-Kendallův test byl aplikován rovněž na řadu minimálních průtoků v daném měsíci (Q_m -min). Tento test byl spuštěn pro období 1961–2017. Stejně jako u průměrných Q_m byl identifikován totožný trend u obou povodí. Q_m -min signifikantně poklesly v období od dubna do září, což je dlouhodobější a výraznější pokles než u průměrných měsíčních průtoků testovaných výše. Také byl odhalen významný roční pokles na obou stanicích. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v tabulce č. 13.

4.3.2 Hodnocení změn odtokového režimu na základě průměrných denní průtoků

Detailnější analýza denních průtoků proběhla v programu IHA, který zpracovává 33 hydrologických parametrů. V této práci byly zkoumány mediány denních hodnot průtoků za období 1961–1988 a 1989–2017 pro obě limnigrafické stanice zobrazené v tabulce č. 14. Medián Q_d stanice Klingenthal se vyznačuje nárůstem mezi dvěma sledovanými obdobími během měsíců listopadu, ledna a března. Pro stanici Rothenthal se zvýšení vyskytuje i pro prosinec. Ve všech ostatních měsících dochází k poklesu, který je nejvýraznější během jarního a letního období. Na delší sledované datové řadě pro stanici Rothenthal jsou nárůsty patrné pro chladnou část roku do března a úbytky se vyskytují v teplé části roku s výjimkou měsíce září, kde byl zaznamenán nárůst mediánu průtoků.

Ve stanicích Klingenthal a Rothenthal pro sledovaná období 1961–1988 a 1989–2017 dochází k poklesu minimálních průtoků po všechny sledované parametry (1-, 3-, 7-, 30-, 90-denní minima). V delší časové řadě stanice Rothenthal se mediány minimálních průtoků snížily ve všech hodnotách až na 90-denní minima, kde byl indikován nárůst.

Všechny mediány 1-, 3-, 7-, 30-, 90-denních maxim stanice Rothenthal pro období 1961–1988 a 1989–2017 poklesly. Pro stanici Klingenthal byl pro 1-, 3- a 7-denní maxima zaznamenán nárůst a pro 30- a 90-denní maxima pokles. V delší časové řadě stanice Rothenthal se mediány maximálních průtoků zvýšily pro všechny parametry.

Hodnota indexu základního odtoku poklesla pro stanici Klingenthal, z čehož plyne, že se snížila dotace toku podzemní vodou. Podobný trend se vyskytl i pro stanici Rothenthal za období 1929–2017. V kratším sledovaném období od roku 1961 se index základního odtoku téměř nezměnil.

Tabulka 14: Hodnoty mediánu pro jednotlivé parametry IHA

	Klingenthal		Rothenenthal		Rothenenthal	
	1961 - 1988	1989 - 2017	1961 - 1988	1989 - 2017	1929 - 1972	1973 - 2017
Skupina 1						
listopad	0,490	0,595	0,640	0,851	0,725	0,797
prosinec	0,980	0,962	1,040	1,090	0,835	1,090
leden	0,780	0,880	1,070	1,140	0,865	1,150
únor	1,050	0,929	1,275	1,190	0,935	1,310
březen	1,090	1,230	1,305	1,670	1,265	1,670
duben	2,200	1,100	2,470	1,540	2,413	1,980
květen	1,080	0,570	1,535	0,877	1,315	1,030
červen	0,690	0,422	1,018	0,590	0,945	0,797
červenec	0,540	0,448	0,710	0,563	0,670	0,660
srpen	0,540	0,379	0,705	0,414	0,605	0,520
září	0,540	0,446	0,705	0,546	0,505	0,597
říjen	0,400	0,473	0,645	0,480	0,590	0,578
Skupina 2						
1-denní minimum	0,290	0,182	0,255	0,200	0,260	0,232
3-denní minimum	0,290	0,182	0,280	0,220	0,270	0,240
7-denní minimum	0,290	0,201	0,309	0,239	0,284	0,253
30-denní minimum	0,346	0,256	0,382	0,296	0,353	0,336
90-denní minimum	0,520	0,368	0,651	0,477	0,516	0,550
1-denní maximum	6,560	7,710	10,050	9,680	7,350	10,600
3-denní maximum	6,273	6,807	8,565	7,483	6,138	8,203
7-denní maximum	5,324	5,911	6,365	6,050	5,150	6,361
30-denní maximum	3,422	3,060	3,721	3,611	3,326	3,713
90-denní maximum	2,316	1,918	2,792	2,532	2,167	2,644
index základního odtoku (base flow index)	0,237	0,188	0,203	0,203	0,229	0,205
Skupina 3						
datum minima	303	216	306	258	306	260
datum maxima	104	46	125	72	106,5	76
Skupina 4						
počet poklesů	5	9	6,5	9	8	6
trvání poklesů (dny)	8	5,5	5,75	7	5,5	5
počet vzestupů	6	5	10,5	8	9,5	10
trvání vzestupů (dny)	9	8	3	2,5	2	3
Skupina 5						
vzestup průtoků (m/s den)	0,23	0,12	0,2075	0,1495	0,135	0,17
pokles průtoků (m/s den)	-0,22	-0,084	-0,14	-0,109	-0,105	-0,12
počet změn tendence	39	91	96	92	102,5	92

Zdroj: sachsen.de, 2018; zpracováno v IHA Software, 2009

Minimální a maximální průtoky se na obou povodích objevují dříve. Na sledované části toku Svatavy se datum minima z konce srpna posunulo na začátek června a první den maximálního průtoky nyní nastává již v prosinci oproti dřívějšímu únoru. Minimální průtok Načetínského potoka se přesunul ze začátku září na začátek července a datum prvního výskytu maximálního průtoky je nyní zaznamenáván v lednu na rozdíl od dřívějšího března.

Počet vzestupů průtoků se na obou sledovaných stanicích snižuje, stejně tak jako počet dní jejich trvání. Tato změna probíhala jen v malém měřítku, kdy počet dní poklesl o jeden (Svatavy) nebo dokonce o půl den (Načetínský potok). Avšak celkový počet dnů vzestupů je přibližně třikrát větší pro stanici Klingenthal. Ve srovnání s delší datovou řadou stanice Rothenthal se zde projevil dokonce nárůst počtu vzestupů mediánu průtoků a délky dnů jejich trvání. Počet poklesů průtoků v zájmové části povodí Svatavy vzrostl, ale doba trvání klesla. Zatímco v zájmové části povodí Načetínského potoka počet také vzrostl, avšak počet dnů trvání se zvýšil. Opět pro delší časovou řadu stanice Rothenthal byl zjištěn opačný vývoj než u kratší časové řady. Počet změn tendence mediánu průtoků se pro stanici Klingenthal se narostl dva a půl krát a vzestup i pokles průtoků se výrazně zmenšil. Oproti tomu pro stanici Rothenthal došlo jen k malému úbytku počtů změn tendence a vzestupy a poklesy mediánů průtoků za den se mírně snížily.

5 Diskuze a závěry

Cílem této práce bylo zhodnotit srážkoodtokový režim v zájmové části povodí řeky Svatavy a Načetínského potoka ležících v Krušných horách. V posledních desetiletích dochází ke změnám teplot a průtoků a řada autorů tuto problematiku zkoumalo. Jako vstupní data byly využity hodnoty průměrných denních a měsíčních srážek, teplot a průtoků. Klimatická data byla získána ze stanic ležících v blízkosti zájmových povodí a ze stanice Fichtelberg, která leží přibližně v polovině jejich vzdálenosti. Hydrologická data byla získána z limnigrafických stanic Klingenthal a Rothenthal, které tvořily závěrový profil sledovaných povodí. Analýza vývoje a trendů datových řad proběhla pomocí lineární regrese, součtových čar, Mann-Kendallova neparametrického testu a IHA analýzy.

Při testování teplot byl odhalen výrazný roční trend zvyšování teplot na obou zájmových povodí. Nejdříve byl tento vývoj detekován pomocí metody lineární regrese a poté byl statisticky potvrzen Mann-Kendallovým testem. V zájmové části povodí Svatavy bylo zjištěno výrazné zvyšování teplot v období od března do srpna. Pro povodí Načetínského potoka byly trendy růstu teplot více různorodé. Bylo odhaleno zvyšování teplot pro prosinec, duben, květen, červenec a srpen. Pro stanici Fichtelberg, se kterou probíhalo srovnání, byl určen vzrůstající trend na listopad a prosinec a dále na období dubna až srpna. Tedy pro všechny tři sledované stanice byl zjištěn stejný nárůst teplot pro měsíce duben, květen, červenec a srpen. Výsledky nárůstu teplot Královec (2009) pro povodí Opavy a Opavice odhalil rostoucí trend a pro výše položené oblasti oteplování v chladném půlroce, což koresponduje se zvyšováním teplot pro stanici Fichtelberg v listopadu a v prosinci zjištěném v této práci. Nárůst teplot ve vyšších polohách byl určen na Šumavě v povodích Ostružné a Blanice hlavně v březnu, květnu a srpnu (Kliment, Matoušková, 2009). V pramenných oblastech povodí Otavy byl také odhalen nárůst teplot, tentokrát v období od ledna do května a také v srpnu (Kliment, Matoušková, 2007b). V německé části Krušných hor a v Sasku bylo také prokázáno celkové navyšování teplot (Renner, Bernhofer, 2011).

Nejméně průkazné výsledky vykazovalo statistické testování trendů u srážek. Metoda lineární regrese ukázala tři různé výsledky pro dané stanice. Pro stanici Elster Bad-Sohl nebyl jednoznačně určen žádný vývoj. Naopak ve stanici Marienberg byl zaznamenán mírný pokles množství srážek. Pro stanici Fichtelberg byl zase indikován mírný nárůst. Při testování hypotéz ročních trendů srážek pomocí Mann-Kendallova testu nebyl statisticky potvrzen žádný trend. Ve všech třech stanicích test odhalil úbytek srážek v měsíci dubnu.

Nárůst srážek vykazoval při testování měsíc říjen pro stanice Elster Bad-Sohl a Fichtelberg. Podobný trend nárůstu srážek v podzimních měsících identifikoval Fiala (2008) v povodí Rolavy v Krušných horách. Řada autorů neidentifikovala během testování žádný trend srážek, například Kliment, Matoušková (2009) v povodí Ostružné a Blanice a Královec (2009) v povodí Opavy a Opavice.

Při srovnání všech výsledků testování průtoků byl jednoznačně zjištěn trend celkového poklesu Q_r , který určila metoda lineární regrese a následně signifikantně potvrdil Mann-Kendallův statistický test. Kromě celkového ročního poklesu průtoků bylo odhaleno jednotlivé snižování průtoků v období od dubna do července. K podobnému výsledku snižování průtoků dospěl i Královec (2009), který se zabýval povodími Opavy a Opavice. Jeho výsledky se lišily pouze pro měsíc duben, kdy signifikantně neurčil žádný trend. Kliment a Matoušková (2009), kteří se zabývali povodími na Šumavě, odhalili také signifikantní pokles průtoků řeky Ostružné na jaře a v létě a řeky Blanice od dubna do června. Jejich testování navíc prokázalo statisticky významný nárůst průtoků řeky Blanice během února a března. K podobnému výsledku dospěli i v dřívější studii pramenných oblastí povodí Otavy (Kliment, Matoušková, 2007b), kdy určili úbytek odtoku v letních měsících a navýšení podílu odtoku v zimních měsících. V této práci nebyl signifikantně určen trend zvyšování průtoků pomocí Mann-Kendallova testu, ale hodnoty mediánů získané z IHA analýzy jasně vykazovaly nárůst v chladné části roku mezi sledovanými obdobími 1961–1988 a 1989–2017. Ledvinka (2008) se zabýval povodím Rolavy v Krušných horách a odhalil naopak celkový nárůst průtoků.

Při hodnocení vlivu zjištěných trendů průměrných měsíčních srážek na průtok si lze povšimnout jisté korelace v úbytku srážek v měsíci dubnu pro obě stanice a zároveň poklesu průtoků také pro obě stanice. Další snižování průtoků v období od dubna do července může být způsobeno zvyšujícím se trendem růstu teplot, který způsobuje vyšší výpar. Kvůli vyšší evapotranspiraci se dostane ihned do atmosféry větší objem vody než dříve, a tedy ubývá množství vody v toku. Tuto pozitivní korelaci změny teplot a průtoků odhalila také studie Rennera a Bernhofera (2011) v německé části Krušných hor a Sasku.

Podle podrobnějšího testování dvou období 1961–1988 a 1989–2017 roste extremita odtoku. Také výsledky mediánů průtoků poukázaly na přesun maximálních průtoků na dřívější období, což odpovídá výsledkům Mann-Kendallova testu, který identifikoval snížení průtoků od dubna do července. Tudíž většina srážek nyní oteče dříve. Nárůst mediánu

průtoků od listopadu do ledna může indikovat závislost na změně množství napadaných pevných srážek, jak bylo možné pozorovat i v pramenné oblasti Otavy (Kliment, Matoušková, 2007a) a v německé části Krušných hor (Renner, Bernhofer, 2011). Jako pokračování této práce by bylo vhodné zařadit i testování množství sněhových srážek, které by pomohlo jednoznačně identifikovat daný vývoj a vysvětlit řadu změn.

Použitá literatura

BALATKA, KALVODA (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie PRAHA, Praha, 79 s.

BARD, A. et al. (2015): Trends in the hydrologic régime of Alpine rivers. *Journal of Hydrology*, 529, 1823–1837.

BLAHUŠIAKOVÁ, MATOUŠKOVÁ (2015): Rainfall and runoff regime trends in mountain catchments (Case study area: the upper Hron River basin, Slovakia). *J. Hydrol. Hydromech.*, 63, 3, 183–192.

DEMEK et al. (1987): *Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny*. Academia, Praha, 584 s.

FIALA, O. (2017): *Změny srážko-odtokového režimu v oblasti Šumavy*. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 99 s.

FRAINDOVÁ, K. (2014): *Změny srážko-odtokového režimu v povodí řeky Athabasca*. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 131 s.

GOCIC, M., TRAJKOVIC, S. (2013): Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172–182.

HONG, X. D. et al. (2017): A global-scale investigation of trends in annual maximum streamflow. *Journal of Hydrology*, 552, 28–43.

KEMEL, M., KOLÁŘ, V. (1980): *Hydrologie*. ČVUT, Praha, 292 s.

KENDALL, M., G. (1975): *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, 272 s.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. *Geografie – Sborník ČGS*. 110. č.1. ČGS. Praha. 32–45.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2007a): Změny ve vývoji odtoku v pramenných oblastech Otavy v kontextu vlivu člověka a změny klimatu. In: Langhammer, J. (ed.): *Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině*. PřF UK. Praha. 95–103.

KLIMENT, Z., & MATOUŠKOVÁ, M. (2007b). Změny srážko-odtokových poměrů v pramenných oblastech povodí Otavy. In: Langhammer, J.(ed.): Povodně a změny v krajině. UK Praha, 317–332.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2008): Long-term trends of rainfall and runoff regime in upper Otava River basin. *Soil and Water Research*. 3, 3, 155–167.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2009): Runoff changes in the Šumava Mountains (Black Forest) and the foothill regions: Extent of influence by human impact and climate change. *Water Resources Management*. 23, 1813–1834.

KLIMENT, MATOUŠKOVÁ, LEDVINKA, KRÁLOVEC (2011): Trend analysis of rainfall-runoff regimes in selected headwater areas of the Czech Republic. *J.Hydrol. Hydromech*, 59, 1, 36–50.

KRÁLOVEC, V. (2009): Změny srážkoodtokových poměrů v povodí horní Opavy. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 148 s.

KRÁLOVEC, KLIMENT, MATOUŠKOVÁ (2016): Evaluation of runoff response on the basis of a comparative paired research in mountain catchments with the different land use. Case study of the Blanice River, Czechia. *Geografie*, 112, 2, 209–234.

KYSELÝ, J. (2009): Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961–2005. *International Journal of Climatology*, 29, 12, 1745-1758.

LEDVINKA, O. (2006): Srážko-odtokové poměry povodí Rolavy. Ročníková práce. PřF UK. Praha. 93 S.

LEDVINKA, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy. Diplomová práce. PřF UK. Praha. 122 s.

ŁUPIKASZA, E. B. (2011): Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany 1951–2006. *International Journal of Climatology*, 31, 15, 2249-2271.

LIBISELLER, C. (2004): MULTMK/PARTMK. A program for computation of multivariate and partialMann-Kendall test. LIU. Linköping.

LIBISELLER, GRIMVALL (2002): Performance of partial Mann – Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics*. 13, 71–84.

MANN, H., B. (1945): Nonparametric tests against trend. *Econometrica*. 13, 3, 245–259.

NETOPIL, B. (1970): *Základy hydrologie povrchových a podpovrchových vod*. Universita J. E. Purkyně, Brno, 220 s.

NETOPIL, B. a kol. (1984): *Fyzická geografie I*. SPN, Praha, 273 s.

PETROW, T., MERZ, B. (2009): Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951–2002. *Journal of Hydrology*, 371, 1, 129–141.

PTAK, M., WRZESIŃSKI, D., CHOIŃSKI A. (2017): Long-term changes in hydrological régime of high mountain Lake Morskie Oko (Tatra Mountains, Central Europe). *J. Hydrol. Hydromech.*, 65, 2, 146–153.

RICHTER B., D., BAUMGARTNER J., V., POWELL J., BRAUN D., P. (1996): A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10, 4, 1163–1174.

RICHTER B., D., BAUMGARTNER J., V., WIGINGTON R., BRAUN D., P. (1997): How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, 1, 231–249.

RICHTER B., D., BAUMGARTNER J., V., BRAUN D., P., POWELL J. (1998): A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management*, 14, 4, 329–340.

RENNER, M., BERNHOFER, C. (2011): Long term variability of the annual hydrological régime and sensitivity to temperature phase shifts in Saxony/Germany. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 1819–1833.

ŠMIDTOVÁ, J. (2014): *Trendy ve vývoji odtoku a kvalitě povrchové vody v povodí Blšanky*. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 54 s.

TOLASZ, R. et al. (2007): *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav, Universita Palackého. 256 s.

TOMÁŠEK, M. (1995): Atlas půd České republiky. Vydavatelství Českého geologického ústavu, Praha, 41 s.

VOLKOVÁ, A. (2010): Změny ve srážko-odtokovém režimu v povodí Stropnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 130 s.

VLACH, V. (2016): Extrémní hydrologické jevy v povodí Rolavy. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 66 s.

VLČEK, V. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR Vodní toky a nádrže. Academia, Praha, 315 s.

YANG et al. (2008): A spatial assessment of hydrologic alteration caused by dam construction in the middle and lower Yellow River, China. *Hydrological Processes*, 22, 3829–3843.

YANG et al. (2017): Development of a new IHA method for impact assessment of climate change on flow regime. *Global and Planetary Change*, 156, 68–79.

Internetové zdroje

ARCDATA PRAHA (2018a): ArcČR 500 - digitální geografická databáze, verze 3.3. www.arcddata.cz (cit. 23. 2. 2018).

ARCDATA PRAHA (2018b): ArcGIS, verze 10.4.1
<https://www.arcddata.cz/produkty/arcgis> (cit. 23. 3. 2018).

CLIMATE-DATA.ORG (2018): Climate data for cities worldwide. <https://en.climate-data.org/> (cit. 24.4.2018)

COPERNICUS (2018): CORINE Land Cover 2012. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (cit. 27. 2. 2018).

ČHMÚ (2017): Hlásné profily. http://hydro.lb.chmi.cz/hpps/hpps_main.php?kat=HLPRF# (cit. 15. 11. 2017)

DIBAVOD (2017): Struktura DIBAVOD. <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27> (cit. 23. 2. 2018).

DEUTSCHER WETTERDIENST (2018): Climate Data Center.

https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html (cit. 10.3.2018)

GRIMVALL, A., LIBISELLER, C. (2003): MULTMK/PARTMK - a Visual Basic

program for multivariate and conditional Mann-Kendall tests.

www.slu.se/PageFiles/70727/Mann-Kendall_p.xls (16.3.2018)

HRDINKA, T. (2013): Hydrografie. Prezentace k předmětu Hydrologie. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

<https://is.cuni.cz/studium/predmety/index.php?do=download&did=39746&kod=MZ330P66Z> (cit. 27. 3. 2018)

IHA SOFTWARE (2009): IHA Software Download.

<https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Pages/IHA-Software-Download.aspx> (cit. 29.6.2018)

JENÍČEK, M. (2011): Hydrografie povodí. Prezentace ke cvičení z hydrologie. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/doc/HydroOZP_04.pdf (cit. 20.2.2018)

PAVELKOVÁ, R. et al. (2009): Vybrané kapitoly z hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci. <http://hydro.upol.cz/> (cit. 27. 3. 2018)

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., FRAJER, J. (2013): Základy fyzické geografie 1: Hydrologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

<http://distgeo.upol.cz/uploads/vyuka/skripta-pavelkova-frajer.pdf> (cit. 17.4.2018)

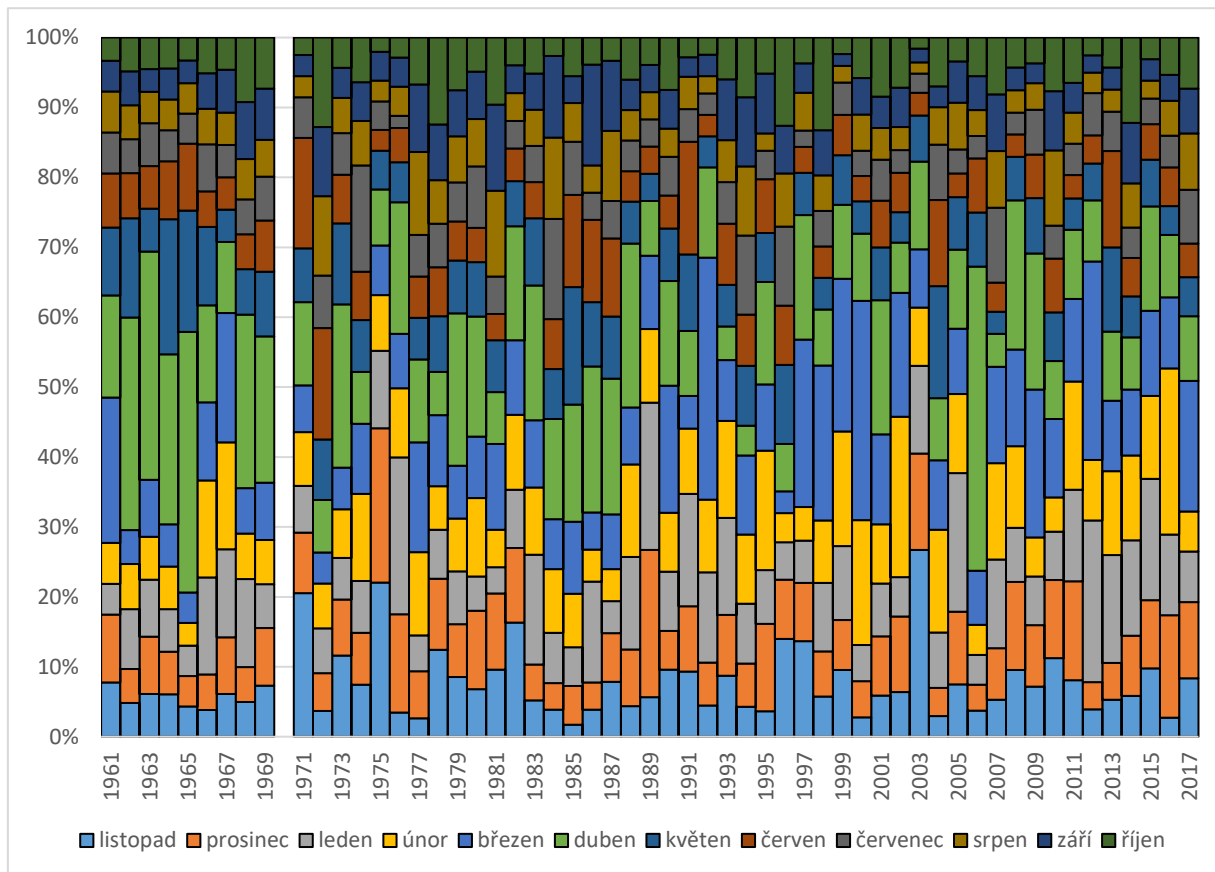
SACHSEN.DE (2018): Wasser, Wasserwirtschaft.

<https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/index.html> (cit. 10.4.2018)

THE NATURE CONSERVANCY (2009): Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual. <https://www.conservationgateway.org/Files/Pages/indicators-hydrologic-alt.aspx47.aspx> (cit. 29.6.2018)

Přílohy

Příloha 1 – Změny sezónního rozložení odtoku řeky Svatavy, 1961–2017. Zdroj: sachsen.de, 2018



Příloha 2 – Změny sezónního rozložení odtoku Načetínského potoka, 1961–2017. Zdroj: sachsen.de, 2018

